

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Al MATRİSLİ SiC_p TAKVİYELİ KOMPOZİT İLE Ç1030 ÇELİĞİNİN
SÜRTÜNME KAYNAK YÖNTEMİYLE KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Duygu GÜNEŞ

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AI MATRİSLİ SiCp TAKVİYELİ KOMPOZİT İLE Ç1030 ÇELİĞİNİN
SÜRTÜNME KAYNAK YÖNTEMİYLE KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Duygu GÜNEŞ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Sare Çelik

Sınav Tarihi : 19.02.2010

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. İrfan AY

Doç. Dr. Enver Atik

Yrd. Doç. Dr. Sare ÇELİK

(BAÜ)

(CBÜ)

(Danışman-BAÜ)



Balıkesir, Şubat-2010

ÖZET

Al MATRİSLİ SiCp TAKVİYELİ KOMPOZİT İLE Ç1030 ÇELİĞİNİN SÜRTÜNME KAYNAK YÖNTEMİYLE KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Duygu GÜNEŞ

**Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

(Yüksek Lisans Tezi / Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Sare ÇELİK)

Balıkesir, 2010

Günümüz sanayiinde kullanılan malzeme türlerinin artması, farklı özellikler gerektiren yerlerde, farklı özelliklere sahip malzemelerin birbiri ile birleştirilmesi zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. Bu tür kaynaklı bağlantılarda, katı hal kaynak yöntemlerinden olan sürtünme kaynağı yöntemi çok iyi sonuçlar vermektedir.

Sürtünme kaynağı; elektriksel enerji veya diğer enerji kaynaklarından yararlanmadan parçaların yüzeylerinde tamamen mekanik hareket ile oluşturulan sürtünmenin neden olduğu ısıdan yararlanılarak uygulanan, kaynaklı bölgede ergimeye yol açmayan kaynak yöntemidir [1].

Çalışmamızda, vorteks metodu ile üretilen metal matrisli kompozit için matris malzemesi olarak A356 alüminyum alaşımı, takviye elemanı olarak da 44 µm boyutunda %6 hacim oranında SiC seramik partikülleri kullanılmıştır. Bu metal matrisli kompozit malzemeler sürtünme kaynağı ile Ç1030 çeliğine birleştirilmiştir. Deneyler, Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Bölümü Laboratuvarında bulunan özel olarak hazırlanmış sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesinde yapılmıştır. Deney esnasında dönme hızı ve yığma süresi sabit tutularak, sürtünme basıncı, yığma basıncı ve sürtünme süresi değiştirilmiştir. Kaynak sonrası numunelere çekme ve sertlik deneyleri uygulanmış, kaynak

bölgesinin mikroyapısı optik mikroskobu ile incelenmiş, SEM görüntüleri alınmış ve EDS analizleri yapılarak uygun kaynak parametreleri tespit edilmiştir.

3000 dev/dak dönme hızında belirlenen optimum parametreler; sürtünme basıncı 20 MPa, yığma basıncı 20 MPa, sürtünme süresi 10 sn ve yığma süresi 4 sn'dir.

Sonuç olarak; SiCp takviyeli A356 matrisli kompozit ile Ç1030 çeliğinin sürtünme kaynağı ile birleştirilebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Metal Matrisli Kompozit, Sürtünme Kaynağı, Mekanik Deneyler, Mikroyapı

ABSTRACT

RESEARCH ON WELDABILITY OF SiC_p REINFORCED Al MATRIX COMPOSITES WITH C1030 STEEL USING FRICTION WELDING

**Balıkesir University, Graduate School of Natural and Applied Sciences,
Department of Mechanical Engineering**

(Master Thesis / Thesis Supervisor: Asst. Prof. Dr.)

Balıkesir, 2010

The increase in the number of materials used in today's industry introduces the necessity of combining materials with different properties for applications requiring diverse properties. For generating such welded connections, using friction welding, which is one of the solid-state welding methods, presents superior results.

Friction welding is a welding method which does not require electrical energy or any other energy source. It is a method applied by using the heat which completely results from the mechanical motion of part surfaces on each other and does not cause fusion at the welded region [1].

In this study, for the metal matrix composite, which is produced using vortex method; A356 aluminum alloy is used as matrix material and SiC ceramic particles, which are 44 μm in length and have a volume ratio of %6, are used as reinforcement material. These metal matrix composite materials are combined with C1030 steel using friction welding. Experiments are held at Mechanical Engineering Laboratory of Faculty of Engineering and Architecture at Balıkesir University using continuously-actuating friction welding machine which is specially prepared. During experiments, friction pressure, upset pressure and friction duration are varied while rotational speed and upset duration are kept constant. After welding; tensile and hardness tests are applied to welded specimens, microstructure of the welded region is examined using an optical microscope, SEM images are obtained and EDS

analysis is performed. Using these analyses, optimum welding parameters are determined.

Optimum parameters are determined at rotational speed of 3000 rpm and they can be given as friction pressure at 20 MPa, upset pressure at 20 MPa, friction duration of 10 seconds and upset duration of 4 seconds.

Consequently, it is observed that SiCp reinforced A356 matrix composite and C1030 steel can be combined using friction welding.

Keywords: Metal Matrix Composite, Friction Welding, Mechanical Experiments, Microstructure

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET, ANAHTAR SÖZCÜKLER	ii
ABSTRACT, KEYWORD	iv
İÇİDEKİLER	vi
SEMBOL LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖNSÖZ	xiii
1. GİRİŞ 1	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. KOMPOZİT MALZEMELER	11
3.1 Giriş	11
3.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	12
3.2.1 Takviye Elemanı Şekline Göre Kompozitlerin Sınıflandırılması	12
3.2.2 Matris Malzemesi Cinsine Göre Kompozitlerin Sınıflandırılması	14
3.3 Metal Matrisli Kompozit Malzemeler (MMK)	14
3.3.1 MMK’larda Kullanılan Matrisler	19
3.3.2 MMK’larda Kullanılan Takviyeler	19
3.3.3 MMK Üretim Yöntemleri	25
3.3.4 MMK Kullanım Alanları	33
3.3.4.1 Sürekli Fiber Takviyeli MMK Malzeme Uygulamaları	33
3.3.4.2 Partikül, Kısa Fiber ve Whisker Takviyeli MMK Malzeme Uygulamaları	36
3.4 Alüminyum Esaslı SiC Partikül Takviyeli MMK Malzemeler	42
3.4.1 Partikül Takviyeli Alüminyum MMK	42
3.4.1.1 Takviye Partikülün Seçimi	42
3.4.1.2 Matris-Takviye Reaktivitesi	43
3.4.1.3 Kompozitin Mikroyapısı	45
3.4.2 Süreksiz SiC Katkılı Alüminyum Matrisli Kompozitler	46
3.4.2.1 Üretim Yöntemleri	47
3.4.2.2 Matris Alaşımı	48
3.5 Al Matrisli MMK’lerin Birleştirme Yöntemleri	49
3.5.1 Ergitme Kaynak Yöntemleri	50
3.5.2 Katı Hal Kaynak Yöntemleri	53
3.5.3 Diğer Yöntemler	55

4. SÜRTÜNME KAYNAĞI	58
4.1 Giriş	58
4.2 İşlem Prensipleri	59
4.3 Sürtünme Kaynak Çeşitleri	60
4.3.1 Klasik (Sürekli Tahrikli) Sürtünme Kaynağı	61
4.3.2 Volanlı (Atalet) Sürtünme Kaynağı:	61
4.3.3 Kombine Kaynak Yöntemi	62
4.4 Sürtünme Kaynağı Parametreleri	62
4.4.1 Çevresel Hız	63
4.4.2 Sürtünme Basınç Kuvveti	63
4.4.3 Sürtünme Süresi	64
4.4.4 Yiğma Süresi	64
4.4.5 Yiğma Basınç Kuvveti	64
4.5 Sürtünme Kaynağı Makinesi	65
4.5.1 Sürtünme Kaynağı Tezgahının Çalışma Prensipleri	67
4.6 Sürtünme Kaynağında Malzeme Çiftlerinin Kaynak Özelliklerine Etkisi	67
4.6.1 Sürtünme Kaynağı Uygulanan Malzemeler	68
4.6.2 Sürtünme Kaynağı Uygulanmayan Malzemeler	70
4.7 Sürtünme Kaynağı Uygulama Alanları	70
4.8 Sürtünme Kaynağının Avantajları	72
4.9 Sürtünme Kaynağının Dezavantajları	73
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	74
5.1 Çalışmanın Amacı	74
5.2 Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	75
5.3 Numune Malzemelerinin Kullanıldığı Yerler	77
5.3.1 Ç1030 Çeliğinin Kullanıldığı Yerler	77
5.3.2 AlSiCp MMK Malzemesinin Kullanıldığı Yerler	77
5.4 Deneylerde Kullanılan MMK'in Üretimi	78
5.5 Sürtünme Kaynak Cihazı ve Teknik Özellikleri	80
5.6 Numunelerinin Hazırlanması	82
5.7 Sürtünme Kaynağı Parametreleri	83
5.8 Çekme Deneyi Uygulamaları	85
5.9 Sertlik Deneyi Uygulamaları	86
5.10 Mikro ve Mikro Yapı İncelemeleri	87
6. DENEY SONUÇLARI	90
6.1 Çekme Deneyi Sonuçları	90
6.2 Sertlik Deneyi Sonuçları	94
6.3 Makro ve Mikro Yapı İnceleme Sonuçları	98
6.3.1 Makro Yapı İnceleme Sonuçları	98
6.3.2 Mikro Yapı İnceleme Sonuçları	99
6.3.2.1 Optik Mikroskop İnceleme Sonuçları	100
6.3.2.2 SEM İnceleme Sonuçları	106
6.4 Kırılma Yüzeyi İnceleme Sonuçları	120
7. GENEL SONUÇLAR	126
KAYNAKLAR	129

SEMBOL LİSTESİ

<u>Simge</u>	<u>Adı</u>	<u>Tanımı/Değeri</u>	<u>Birimi</u>
MMK	Metal matrisli kompozit		----
n	Devir sayısı		dev/dak
P ₁	Sürtünme basıncı		MPa
P ₂	Yığma basıncı		MPa
t ₁	Sürtünme süresi		sn
t ₂	Yığma süresi		sn
L ₁	Kaynak öncesi boy		mm
L ₂	Kaynak sonrası boy		mm
ΔL	Deformasyon miktarı		mm
K.B	Kaynak Bölgesi		-----

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u> <u>Numarası</u>	<u>Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1	Kompozit Malzemelerin Üretildikleri Malzeme Sınıfları	11
Şekil 3.2	Kompozit Malzemelerin Takviye Elemanının Şekline Göre Sınıflandırılması	13
Şekil 3.3	Kompozit Malzemelerin Kullanılan Matris Malzemesinin Cinsine Göre Sınıflandırılması	16
Şekil 3.4	Takviye Malzemesinin Geometrisine Göre Metal Matrisli Kompozitler, a- partikül takviyeli, b- kısa fiber takviyeli, c- sürekli fiber takviyeli	24
Şekil 3.5	Vakum İnfiltrasyon Yönteminin Şematik Gösterimi	26
Şekil 3.6	Gaz Basıncılı İnfiltrasyon Yönteminin Şematik Gösterimi	27
Şekil 3.7	Sıkıştırılmalı Döküm İnfiltrasyonu Yönteminin Şematik Gösterimi	28
Şekil 3.8	Basıncılı Döküm İnfiltrasyonu Yönteminin Şematik Gösterimi	29
Şekil 3.9	Karıştırma Döküm Yönteminin Şematik Gösterimi	30
Şekil 3.10	Toz Metalurjisi Döküm Yönteminin Şematik Gösterimi	31
Şekil 3.11	Difüzyonla Bağlama Yönteminin Şematik Gösterimi	32
Şekil 3.12	İN-situ Döküm Yönteminin Şematik Gösterimi	33
Şekil 3.13	Karbon Fiber Katkılı Mg Matrisli Kompozit Uydu Destek Parçaları	34
Şekil 3.14	SiC Partikül Takviyeli Al Metal Matrisli Kompozit Silindir Gömleği Görülmektedir	38
Şekil 3.15	Partikül Takviyeli MMK Kompozit Fren Elemanları	38
Şekil 3.16	F-16 Uçağı Gövdesinde Partikül Takviyeli MMK Malzeme Kullanımı	38
Şekil 3.17	Grafit ve Alümina Takviyeli AMMK Motor Bloğu	39
Şekil 3.18	SiC Partikül Takviyeli Al Kompozit Biyel Kolu	40
Şekil 3.19	Alümina Kısa Fiber Takviyeli Alüminyum Kompozit Piston	40
Şekil 3.20	Uzay Mekiği Destek Parçası Olarak Kullanılan Fiber Takviyeli MMK Malzeme	41
Şekil 3.21	Süreksiz Seramik Takviyeli Metal Matrisli Malzemelerin Üretim Yolları	48
Şekil 4.1	Sürtünme Kaynağı Resmi	58
Şekil 4.2	Sürtünme Kaynağında Temel Adımlar	60
Şekil 4.3	Klasik Sürtünme Kaynak Parametreleri.	61
Şekil 4.4	Sürtünme Kaynağı Donanımı	66
Şekil 4.5	Sürtünme Kaynağı Uygulama Alanları	71
Şekil 5.1	Al/6SiCp MMK Kopma Resmi	76
Şekil 5.2	Ç1030 Kopma Resmi	76
Şekil 5.3	Al/6SiCp Malzemesinin Optik Mikroskop Görüntüsü (100x)	79
Şekil 5.4	MMK Hatalı Döküm Optik Mikroskop Görüntüsü (100x)	80
Şekil 5.5	Bilgisayar Kontrollü Sürtünme Kaynak Cihazı	81
Şekil 5.6	Bilgisayar Programı Ekran Penceresi	82
Şekil 5.7	Sürtünme Kaynağı İçin Hazırlanan Numune Boyutları	82
Şekil 5.8	TS 287 EN 895 Çekme Numune Boyutu	85
Şekil 5.9	Çekme Cihazı Resmi	86

Şekil 5.10 Mikrosertlik Ölçümünün Yapıldığı Doğrultu	87
Şekil 5.11 Ç1030-MMK Kaynak Sonrası Resmi	87
Şekil 5.12 Bilgisayar Destekli Optik Mikroskop Cihazı	88
Şekil 5.12 Taramalı Elektron Mikroskop Cihazı	89
Şekil 6.1 Çekme Numunesinin Çekme Grafiği	91
Şekil 6.2 Çekme Deney Numunesinin Kopma Resmi	92
Şekil 6.3 2 Numaralı Deney Numunesinin Sertlik Diyagramı	94
Şekil 6.4 3 Numaralı Deney Numunesinin Sertlik Diyagramı	94
Şekil 6.5 4 Numaralı Deney Numunesinin Sertlik Diyagramı	95
Şekil 6.6 5 Numaralı Deney Numunesinin Sertlik Diyagramı	95
Şekil 6.7 6 Numaralı Deney Numunesinin Sertlik Diyagramı	96
Şekil 6.8 Deneylelerin Sertlik Dağılımları	96
Şekil 6.9 5 Numaralı Deney Sürtünme Kaynağı Numunesine Ait Makro Fotoğraf ($P_1=10$, $P_2=20$, $t_1=12$ $t_2=4$)	98
Şekil 6.10 6 Numaralı Deney Sürtünme Kaynağı Numunesine Ait Makro Fotoğraf ($P_1=10$, $P_2=30$, $t_1=4$ $t_2=4$)	98
Şekil 6.11 Sürtünme Kaynaklı Numunelerin Tane Yapısı	99
Şekil 6.12 Farklı Parametrelerin Kaynak Yerlerinin Optik Mikroskop Görüntüleri (50X)	100
Şekil 6.13 2 Numaralı Deney Numunesinin Optik Mikroskop Görüntüsü (200X)	101
Şekil 6.14 3 Numaralı Deney Numunesinin Optik Mikroskop Görüntüsü (200X)	102
Şekil 6.15 5 Numaralı Deney Numunesinin Optik Mikroskop Görüntüsü (200X)	103
Şekil 6.16 3 Numaralı Deney Numunesinin Mikroskop Görüntülerinin Alındığı Noktalar (500X)	104
Şekil 6.17 3 Numaralı Deney Numunesinin Optik Mikroskop Görüntüleri (500X)	105
Şekil 6.18 3 Numaralı Deney Numunesinden SEM Görüntülerinin Alındığı Noktalar	107
Şekil 6.19 3 Numaralı Deney Numunesine Ait C Bölgesinin SEM Fotoğrafi	108
Şekil 6.20 3 Numaralı Deney Numunesine Ait C-1 Noktasının SEM Fotoğrafi	108
Şekil 6.21 3 Numaralı Deney Numunesine Ait C-2 Noktasının SEM Fotoğrafi	109
Şekil 6.22 3 Numaralı Deney Numunesine Ait C-3 Noktasının SEM Fotoğrafi	109
Şekil 6.23 3 Numaralı Deney Numunesine Ait C-4 Noktasının SEM Fotoğrafi	110
Şekil 6.24 3 Numaralı Deney Numunesine Ait C Bölgesinin EDS Analizinin Yapıldığı Hat	110
Şekil 6.25 3 Numaralı Deney Numunesine EDS Analizi	111
Şekil 6.26 3 Numaralı Deney Numunesine Ait B Bölgesinin SEM Fotoğrafi	111
Şekil 6.27 3 Numaralı Deney Numunesine Ait B Bölgesinin Kaynak Bölgesi SEM Fotoğrafi	112
Şekil 6.28 3 Numaralı Deney Numunesine Ait B-1 Noktasının EDS sonucu	113
Şekil 6.29 3 Numaralı Deney Numunesine Ait B-2 Noktasının EDS sonucu	114
Şekil 6.30 3 Numaralı Deney Numunesine Ait A Bölgesinin SEM Fotoğrafi	115
Şekil 6.31 3 Numaralı Deney Numunesine Ait SEM Fotoğrafi	115
Şekil 6.32 3 Numaralı Deney Numunesine 1 Noktasının EDS sonucu	116
Şekil 6.33 3 Numaralı Deney Numunesine 2 Noktasının EDS sonucu	117
Şekil 6.34 3 Numaralı Deney Numunesine 3 Noktasının EDS sonucu	118
Şekil 6.35 3 Numaralı Deney Numunesine 4 Noktasının EDS sonucu	119
Şekil 7.1 Kırılma Yüzeyinin MMK Malzeme Tarafının SEM Görüntüsü	120

Şekil 7.2 Kırılma Yüzeyinin Ç1030 Malzeme Tarafının SEM Görüntüsü	121
Şekil 7.3 Kırılma Yüzeyinin Ç1030 Malzeme Tarafında Alınan EDS Analiz Noktaları	121
Şekil 7.4 Kırılma Yüzeyinin Ç1030 Malzemene Tarafında 1 Noktasının EDS Analiz Sonucu	122
Şekil 7.5 Kırılma Yüzeyinin Ç1030 Malzemene Tarafında 2 Noktasının EDS Analiz Sonucu	123
Şekil 7.6 Kırılma Yüzeyinin Ç1030 Malzemene Tarafında Doğrusal EDS Analiz Hattı	124
Şekil 7.7 Kırılma Yüzeyinin Ç1030 Malzemene Tarafında Doğrusal EDS Analiz Sonucu	124
Şekil 7.8 Kırılma Yüzeyinin MMK Malzemene Tarafında Doğrusal EDS Analiz Hattı	125
Şekil 7.9 Kırılma Yüzeyinin MMK Malzemene Tarafında Doğrusal EDS Analiz Sonucu	125

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u> <u>Numarası</u>	<u>Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1	MMK Malzemeler İçin Bazı Önemli Takviye Malzemeleri	20
Çizelge 3.2	MMK Üretiminde Kullanılan Partikül Takviye Malzemelerinin Özellikleri	23
Çizelge 3.3	MMK üretiminde kullanılan fiber ve viskerlerin bazı özellikleri	24
Çizelge 3.4	Bazı Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri	25
Çizelge 4.1	Sürtünme Kaynaklı Malzemeler ve Malzeme Kombinasyonları	69
Çizelge 5.1	Ç1030 Malzemesine Ait Kimyasal Bileşim	75
Çizelge 5.2	A356 Malzemesine Ait Kimyasal Bileşim	75
Çizelge 5.3	SiCp Tozun Kimyasal Bileşim	75
Çizelge 5.4	Ç1030 ve MMK Malzemelerinin Mekanik Özellikleri	76
Çizelge 5.5	Al/%6 SiCp Kompozitlerin Kullanıldığı Yerler	77
Çizelge 5.6	Deney Numuneleri ve Kaynak Parametreleri	84
Çizelge 6.1	Kaynak Öncesi ve Sonrası Numune Boyları	90
Çizelge 6.2	Çekme Deneyi Sonuçları	91

ÖNSÖZ

Yapmış olduğum yüksek lisans çalışmasında beni yönlendiren, bana her konuda yardımcı olan ve bilgilerini benimle paylaşan çok değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Sare ÇELİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım esnasında sürtünme kaynağı tezgahını kullanmamda yardımcı olan İsmail ERSÖZLÜ ve Faik DERİCİ'ye, metal matrisli kompozit malzemelerin temininde yardımcı olan Doç. Dr. Enver ATİK, mekanik test çalışmalarım için yardımcı olan Mehmet Tuncay KAYA'ya, fakültemizin atölye ve laboratuvarlarında çalışan memurlarımıza ve bana her konuda destek olan yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım İsmail TAHİROĞLU ve Pınar SÜNGER'e teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatımda, bana her zaman destek olan, hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan, babam Muhammet GÜNEŞ, annem Yeter GÜNEŞ ve kardeşim Ufuk GÜNEŞ'e sevgi ve saygılarımı sunar, sonsuz teşekkür ederim.

Balıkesir, 2010

Duygu GÜNEŞ

1. GİRİŞ

Son yıllarda teknolojik gelişmeler yeni malzemelerin geliştirilmesini ve bu malzemelerin birleştirilmesinde yeni yöntemlerin kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Bu malzemelerden biri olan metal matrisli kompozit malzemeler temel olarak birbiri içinde çözünmeyen ve birbirinde farklı şekil veya malzeme kompozisyonuna sahip iki veya daha fazla makro bileşenin karışımından oluşmuş yapılardır. Seramiklerin yüksek elastik modül ve metallerin yüksek süneklik özelliklerini birleştiren metal matrisli kompozit malzemeler, dayanım/ağırlık ve dayanım/yoğunluk oranları gibi, malzeme özelliklerinin önemli olduğu başta havacılık, uzay, savunma sanayi ve otomotiv endüstrisi olmak üzere birçok modern teknoloji kullanan alanlarda, klasik metalik malzemelerin yanında yer alarak yapısal malzemelerin kapsamına büyük ölçüde yenilik kazandırmışlardır [2,3]. Bu özelliklerinden dolayı kompozit malzemelerin üretimi ve mekanik özellikleri ile ilgili çalışmalar önem kazanmış ve halen devam etmektedir. Ancak işlenebilirlik, plastik şekil verme ve birleştirilebilirlik gibi üretim sonrası işlemlerle ilgili çalışmaların henüz yeterli düzeyde olmaması bu tür araştırmaların önemini artırmaktadır.

Seramik takviyeli Alüminyum matrisli kompozit malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan ergitme kaynak yöntemlerinde çeşitli sorunlarla karşılaşmaktadır [4]. Örneğin, ergime safhasında takviye elemanının viskoziteyi artırması dolgu malzemesi ile kompozitin karışımını güçleştirerek kaynağın oluşumunu önlemekte ve bağlantının kalitesini düşürmektedir. Termodinamik açıdan alüminyum matrisli kompozitler dengede değildir. Çünkü matris ile takviye arasında bir kimyasal potansiyel farkı olduğu için kimyasal reaksiyonlar meydana gelmekte ve istenmeyen fazların oluşmasına neden olabilmektedir. Ayrıca, ergimiş metal havuzunun katılaşması sırasında takviye elemanları katılaşma cephesinin önüne itilmekte ve kaynak havuzunun normal katılaşma süreci bozulmaktadır. Bu durum mikro segregasyona ve homojen olmayan bir dağılıma yol açarak kaynakta birçok hatanın oluşmasına sebep olmaktadır [5].

Sürtünme kaynağı, biri sabit diğeri dönen iki parça ara yüzeylerinde mekanik olarak oluşturulan sürtünme yoluyla üretilen mekanik enerjinin termal enerjiye dönüştürülmesi ile elde edilen sıcaklıktan yararlanarak aksel basınç altında yapılır. Sürtünme kaynağında kaynak süresi boyunca sürtünen yüzeyler aksel basınç altında kalır ve ısıtma safhası ya da sürtünme safhası olarak adlandırılan bu süreç plastik deformasyon sıcaklığı oluşuncaya kadar devam eder [6]. Bu sıcaklıkta dönme hareketi durdurulup aksel basınç artırılarak yığıma oluşturulur. Böylece kaynak bölgesi bir tür termo mekanik işleme uğramakta ve dolayısıyla birleşme bölgesinde tane yapısı bozulmamaktadır [7,8]. Sürtünme kaynağı, ısı ve mekanik özellikleri farklı olan metallerin birleştirilmesinde kullanılacak bir yöntem olarak görülmektedir. Çünkü sürtünme kaynağında ergime sıcaklığının altında çalışılması ve kaynak süresinin kısa olması nedeniyle, diğer kaynak yöntemleri ile birleştirilemeyen malzeme çiftlerinin bu yöntemle birleştirilmesi mümkün olabilmektedir [9].

Belirtilen nedenlerden dolayı, bu çalışmada katı hal kaynak yöntemlerinden biri olan sürtünme kaynağı kullanılarak A356 alüminyum matrisli SiCp takviyeli kompozit ile Ç1030 çeliğinin birleştirilebilirliği amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Sürtünme kaynağı ile kaynak yapma fikri eskilere dayanmaktadır. Ancak konu ile ilgili ilk patent 1891 yılında Amerikalı makinist I.H.Bevington tarafından alınmıştır. Daha sonraları konu ile ilgili 1924 yılında İngiltere ve Rusya, 1929 yılında Almanya patent almıştır. Başlangıçta boru ve plastiklerin kaynağında kullanılan bu teknikte, 1956 yılında Rus bilimci A.J. Chdicov iki metal çubuğu birleştirmeyi başarmıştır. Sürtünme kaynağı konusu ile ilgili gerçek bilimsel çalışmalar 1956 yılından sonrada devam etmiştir. Rusya'da Will ve arkadaşları; sürtünme kaynağı yöntemini önce torna makinesinde uygulamış ve çelik çubuklar da yüksek kalitede bir birleşme sağlamışlardır. Bu çalışmalar başarı ile sonuçlandıktan sonra 1961 yılından itibaren Amerikan yapımı kaynak makinesinin de piyasaya sürülmesiyle çalışmalar hız kazanmıştır. Yöntemin uygulama alanlarının geliştirilmesi doğrultusunda çalışmalar halen devam etmektedir [10]. Ayrıca, sürtünme kaynağı ile ilgili araştırmalar 1970'lerden sonra hızlı bir ivmelenme göstermiştir. Kinley W. (1979) ve Anik S. (1993) sürtünme kaynağı hakkında bilgi vermişlerdir [11].

Zhou, Li, Hu, Fuji, ve North (1995) çalışmalarında; MMK ve AISI 304 malzemelerinin birleşme noktalarındaki çentik darbe dayanımının dönme hızı, sürtünme süresi ve sürtünme basıncına bağlı olarak değişimini araştırmışlardır. Sürtünme basıncı ve dönme hızının çentik darbe dayanımını önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. En yüksek çentik darbe dayanımı, en yüksek sürtünme basıncında (120 MPa) elde edilmiştir [12].

Dabak (1995) çalışmasında; farklı özellikteki malzemelerin sürtünme kaynağı ile birleştirilmesinde kullanılan tezgahın imali gerçekleştirilmiş, SAE 8620 ve Ç1040 malzemelerinin kaynak edilebilirliği araştırılmıştır. Deneyler sırasında kaynak parametreleri, devir sayısı ve dövme süresi sabit tutularak, kaynak basıncı ve kaynak sürtünme süresi değiştirilmiştir. Bu parametrelerin kaynak dikişine olan etkileri mekanik ve metalografik olarak incelenmiştir. Kaynak dikişi mukavemetinin deney

sırasında kullanılan malzeme mukavemetlerinden yüksek olduğu tespit edilmiştir [13].

Kahraman ve arkadaşları (1995) çalışmalarında; ergime sıcaklıkları farklı olan H2210 çeliği ve Al malzemelerinin sürtünme kaynağı ile birleştirilmesi imkânlarını deneysel olarak araştırmışlardır. Deneysel esnasında kaynak parametreleri değiştirilerek, bu parametrelerin kaynak dikişine etkilerini incelemişlerdir. Kaynak sırasında farklı sıcaklıkların oluştuğunu saptamışlardır. Bunun sebebini, kaynak metallerinin farklı ısı özelliklerine sahip olmasına bağlamışlardır. Ayrıca kaynak metallerinin mikro yapıları ve mekanik özelliklerini inceleyerek kaynak dikişi mukavemetinin Al malzemesinden daha yüksek olduğunu görmüşlerdir [14].

Lienert, Baeslack, Ringnalda ve Fraser (1996) çalışmalarında; % 11 oranında SiCp ile takviyelendirilmiş 8009 alüminyum matrisli kompozit malzemenin atalet frenli sürtünme kaynağını araştırmışlardır. Optik ve elektron mikroskopuyla incelemeler yapmış ve mikrosertlik, gerilim değerlerini ölçmüşlerdir. Bu sürtünme yönteminde aksiyel kuvvet iki aşamada uygulanmıştır. Kaynak dikişinin mikroyapısı incelendiğinde SiCp'nin homojen dağılımı görülmüştür. SiCp ve matris arasında kimyasal tepkime görülemedi ancak ana malzemede SiC partiküllerinden kaynaklanan çatlaklar görülmüştür. SiCp takviyeli 8009 alüminyum matrisli kompozit malzemelerin atalet frenli sürtünme kaynağında, sertlik ve gerilim değerlerinde çok az kayıplar görülmüştür[15].

Li, Maldonado, North ve Altshuller (1997) çalışmalarında; aynı ve farklı metal matrisli kompozitlerin sürtünme kaynağında, mekanik ve metalurjik özellikleri incelemişlerdir. Kullanılan malzeme çiftleri MMK/MMK, MMK/6061 alaşımı, MMK/AISI 304 paslanmaz çelik ve 6061 alaşımı/6061 alaşımı'dır. Sonuç olarak, MMK/AISI 304 malzeme çiftinin sürtünme kaynağında, yüksek yığılma basınç değerlerinde optimum çentik darbe dayanım özellikleri elde edilmiştir [16].

North, Bendsak, Li ve Zhai (1997) çalışmalarında; sürtünme kaynağı yapılmış MMK/MMK ve MMK/AISI 304 malzemelerin nümerik analizini yapmışlar, sürtünme kaynağı süresince takviye elemanı olarak kullanılmış partiküllerde meydana gelen çatlakları incelemişlerdir. Kaynak dikişi boyunca partikül çaplarını ve gözenek çaplarını ölçmüşlerdir. Kaynak dikişinde meydana gelen gözenek çaplarının ve partikül çaplarının sürtünme kaynağının yığılma safhasında azaldığını ispatlamışlardır [17].

Lin, Mu, Wu ve Hung (1999) çalışmalarında; sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş 360Al/360Al metal malzeme çifti ve %10v SiC 360Al/%10v SiC 360Al metal matrisli kompozit malzeme çiftinin kaynak dikişini incelemişlerdir. Özellikle ısı etkisi altında kalan bölgenin bağlantı dayanımlarını karşılaştırmışlardır. En iyi bağlantı dayanımının 360Al/360Al metal malzeme çiftinde sağlandığı görülmüştür. Ayrıca 360Al/360Al kaynak dikişinde görülen çatlakların, %10v SiC 360Al/%10v SiC 360Al SiC kaynak dikişindeki çatlaklara göre daha sünek olması dayanım konusundaki bulguları doğrulamıştır [18].

Gosaku, Koichi, Hiizu ve Hiroshi (1999) çalışmalarında; alüminyumun çeşitli alaşımlı boru malzemeleri ile SUS304 paslanmaz boru malzemelerini kombine ederek sürtünme kaynağını gerçekleştirmişlerdir. A1050/SUS304, A5052/SUS304, A5056/SUS304, A6061/SUS304 ve A6063/SUS304 malzeme çiftlerinin kaynak edilebilirliği ve maksimum kaynak bağlantı kalitesinin sırasıyla %91, %71, %60, %79 ve %97 oranlarında sağlandığı tespit edilmiştir. Kaynak yüzeyinde $Al_{13}Fe_4$ intermetalik fazın meydana geldiği görülmüştür. Denenen diğer malzeme çiftlerinde bunlardan daha düşük kalitede kaynak dikişleri elde edilmiştir. Örnek olarak A2011/SUS304, A2017/SUS304 ve A2024/SUS304 malzeme çiftlerinde $CuAl_2$ ve Al_7Cu_2Fe fazları meydana gelmiş ve maksimum kaynak bağlantı kalitesi sırasıyla %26, %39 ve %32 oranlarında sağlanmıştır. Başka bir çalışmada ise A7075/SUS304 malzeme çiftinde $Al_{23}CuFe_4$ fazı meydana gelmiş ve maksimum kaynak bağlantı kalitesi %37 oranlarında sağlanmıştır [19].

Lin, Chou ve Ma (2002) çalışmalarında; aynı matrisli farklı takviye elemanı iki kompozit malzemenin sürtünme kaynağını gerçekleştirmişlerdir. Kompozit malzemeler SiCp takviyeli 7005 alüminyum ve Al₂O₃ takviyeli 7005 alüminyumudur. Kompozit malzemelerde takviye oranları olarak % 10 ağırlık oranında 15 µm and 6 µm SiC(p) ve yine aynı ağırlık oranında 15 µm Al₂O₃ seramik parçacıkları kullanılmıştır. Sonuç olarak takviye elemanı olarak SiC partiküllerinin kullanılması, kaynak dikişi üzerinde ısı etkisi altında kalan bölgede takviye partiküllerinin yoğunlaşmasına, bunun sonucu olarak da plastik bölgede sertlik değerlerinde artış, kaynak dayanımında azalma ve ısı etkisi altında kalan bölgede daralma tespit edilmiştir [20].

Maldonado ve North (2002) çalışmalarında; Ag malzemesini ilave malzeme olarak kullanmış, MMK/AISI 304 ve MMK/Ag/AISI 304 malzemelerin sürtünme kaynağını gerçekleştirmişlerdir. MMK/AISI 304 ve MMK/Ag/AISI 304 malzeme çiftlerinde yüksek sürtünme basınç değerlerinde kaynak gerilim dayanımının arttığı görülmüştür. Yüksek kaynak dayanımlarının elde edildiği MMK/AISI 304 ve MMK/Ag/AISI 304 bağlantılarında kaynak dikişindeki tane yönelmeleri incelenmiş ve Finite Element Modeling analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda MMK/AISI 304 ve MMK/Ag/AISI 304 kaynaklarının gerçek gerilim dayanımları tespit edilmiştir [21].

Şahan (2002) çalışmasında; 6061 Al tozuna 30 ve 60 µm boyutlarında hacimce %5, %10 ve %15 oranlarında Al₂O₃ tozlar katarak toz metalürjisi yöntemiyle Al matrisli Al₂O₃ takviyeli kompozitler üretmiştir. Metal matrisli kompozit malzemeleri sürtünme kaynağı ile SAE 1020 çeliğine birleştirmiştir. Sürtünme kaynağı neticesinde kaynak bölgesinde mikroyapılar SEM ve optik mikroskopu ile incelenmiş, sertlikler ölçülmüş ve kaynak bölgesinin kayma dayanımı tespit edilmiştir. Sonuç olarak Al/Al₂O₃ kompozitinin SAE 1020 çeliğine sürtünme kaynağı ile kaynatılabileceği gösterilmiştir. Ancak oksit miktarı ve boyutu arttıkça kaynak kalitesinin düştüğü vurgulanmıştır [22].

Hasçalık (2003) ise; Al_2O_3 oranının Al/Al₂O₃ kompoziti ile AISI 1020 çeliğinin sürtünme kaynağına etkisini incelemiştir. 30 µm ve 60 µm boyutlarında Al_2O_3 tozları ayrı ayrı % 5, 10, 15 hacim oranlarında 6061 Al tozuna katılarak toz metalurjisi yöntemi ile kompozit malzemeler üretilmiştir. Al/ Al_2O_3 kompozitinin AISI 1020 çeliğine kaynatılabileceği gösterilmiştir. Ayrıca oksit miktarı ve boyutu arttıkça birleşme bölgesinin kayma dayanımının düştüğü görülmüştür [23].

Orhan (2003) çalışmasında; Al matrisli SiC parçacıklı kompozitler toz metalurjisi ile üretilmiştir. Kompozit/Kompozit ve Kompozit/Al çiftleri arasında kaynaklı bağlantılar elde edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda Al matrisli SiCp kompozitlerin sürtünme kaynağı ile birleştirilebileceği fakat matris ile takviye elemanı arasındaki bağlanmanın doğası sebebiyle, arakesit bölgesinde çatlama, parçacık kırılması ve bunun sonucu olarak da yapısal farklılaşmaların olabileceği anlaşılmıştır [24].

Lee, Kim ve Koo (2004) çalışmalarında; 24 mm çapında ve 120 mm boyunda TiAl alaşımı ile 20 mm çapında ve 120 mm boyunda AISI 4140 malzemelerinin, dönme hızı 2000 rev/min, yığma süresi 5 sn olmak üzere sürtünme süresi 30-50 sn arasında ve yığma basıncı 300-460 MPa arasında değiştirilerek sürtünme kaynağı gerçekleştirilmiştir. Kaynak bölgesi optik ve elektron mikroskopuyla incelenmiş, kaynak bölgesinin EDS analizleri yapılmış, sertlikleri ölçülmüştür. AISI 4140 tarafındaki sertlik değerlerinin 600-900 HV arasındaki değerlere kadar yükseldiği, TiAl tarafında sertlik değerlerinde ise değişme olmadığı görülmüştür. Bununla birlikte kaynak dayanımının 120 MPa gibi düşük bir değer olduğu saptanmıştır [25].

Ochi, Ogawa, Yamamoto ve Suga (2004) çalışmalarında; farklı metallerin sürtünme kaynağında zayıf kaynak bağlantısının kurulmasını önlemek için ilave metal kullanılmıştır. A2017 ve S45 çeliğinin sürtünme kaynağı A1050 ilave metali kullanılarak gerçekleştirilmiş, kaynak sonucunda kaynak dikişinde Al_7Cu_2Fe gevrek intermetalik fazın oluştuğu görülmüştür. Ayrıca kullanılan ilave metal tabakası; kalın olur ve A2017 ile karışırsa kaynak dayanımının düşük, ince olur ve kaynak bölgesinde oluşan intermetalik fazların tümü dışarı atılırsa kaynak dayanımının

yüksek olduğu ispatlanmıştır. İlave metal, A2017 ve S45 malzemelerinin birbirleriyle direk temas haline geçmesini önlemiştir. A2017/A1050/S45 kaynaklı elde edilen maksimum çekme dayanımı 290 ve 380 MPa olmuştur [26].

Kato ve Tokisue (2004) çalışmalarında; farklı alüminyum alaşımlı malzemelerin birbirleriyle sürtünme kaynağını gerçekleştirmişlerdir. Kullanılan malzeme çiftleri A2017/A6061 alaşımları, A5052/MMK(A6061 matrisli SiCp takviyeli metal matrisli kompozit), AC4C ilave malzeme olarak kullanılmasıyla A5052/AC4C/A5052 alaşımları, Al/Mg, A1050/AZ31 alaşımları, A6061/AZ31, A2017/Ti, A1050/S35C ve Al/Cu malzemeleridir. Tüm malzemelerin içyapıları incelenmiş, gerilim dayanımları ölçülmüştür. Sonuç olarak farklı malzemelerin sürtünme kaynağında ısı etkisi altında kalan bölgelerde problemlerle karşılaşmıştır. Kaynak dikişinde intermetalik fazların oluşumu gözlenmiştir. Farklı alüminyum alaşımlarının farklı malzemeler ile kaynak edilebileceği gösterilmiştir [27].

Ersözlü (2006) çalışmasında; Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Bölümü Laboratuvarında bulunan sürtünme kaynak makinesinin, hidrolik ünitesi, elektrik-kumanda devresi revize edilerek, cihaz hem elle (manuel) kontrollü hem de bilgisayar kontrollü olarak çalışır hale getirilmiştir. Sürtünme kaynak makinesinin bilgisayar kontrollü çalışması için programlanabilir mikro işlemci entegreli elektronik kontrol ünitesi ve Delphi 6 programlama dili ile bilgisayar programı hazırlanmıştır. Sürtünme kaynak makinesinin bilgisayar kumandalı olarak çalıştırılması, tüm devre ve sistemlerin en verimli şekilde çalışmasını sağlamıştır. Bu durum, cihazın çalışma ömrünü artırmış ve enerji tasarrufu sağlamıştır. Düzenlenen sürtünme kaynak cihazında SAE 4140 ve SAE 1050 çeliklerinin sürtünme kaynağı yapılmıştır. Deneyler esnasında, dönme hızı, yığma basıncı ve yığma süresi sabit tutularak, sürtünme basıncı ve sürtünme zamanı değiştirilmiştir. Ayrıca kaynak esnasında kaynak yerinin sıcaklık değişimi kızıl ötesi sıcaklık ölçme cihazı (prometre) ile ölçülmüştür. Sürtünme kaynağı uygulanmış olan numunelerin, sertlik değişimi, çekme dayanımı, makro ve mikro yapıları incelenerek uygun kaynak parametreleri tespit edilmiştir. 3000 dev/dak hızında belirlenen en iyi kaynak parametreleri: sürtünme basıncı 10 daN/cm², sürtünme süresi 6 sn, yığma basıncı 20 daN/cm² ve yığma süresi 14 sn'dir [28].

Şahin (2008) çalışmasında; östenitik paslanmaz çelik ve alüminyum metallerinin sürtünme kaynağı yöntemi ile kaynaklanması üzerine çalışmıştır. Kaynaklı malzemedeki sertlik değerlerini incelemiştir. İstatistiksel analizler ile optimum kaynak parametrelerini belirlemiş ve bu değerlerde gerilim mikrosertlik analizleri yapmıştır. Daha sonra kaynak dikişi, çekilen mikro ve makro fotoğraflarla incelenmiştir. Elde edilen değerlendirmeler daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırılmıştır [29].

Reddy, Rao ve Mohandas (2008) çalışmalarında; sürekli tahrikli sürtünme kaynak yöntemiyle AA6061 ve AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kaynağı gerçekleştirilmiştir. Bu malzemelerin direk kaynak edilmesi sonucu kaynak dikişinde çatlaklar ve Fe_2Al_5 formu meydana geldiği görülmüş, bu problemi azaltmak için bu malzemelerin birbirine direk difüzyonunu engellemek amacıyla elektroliz yoluyla kaplama ile Cu, Ni ve Ag plakaları ilave metal olarak kaynağa dahil edilmiştir. Cu ve Ni'nin kaynakta $CuAl_2$ ve $NiAl_3$ intermetalik fazlarını oluşturarak çatlaklara neden olduğu, Ag'nin ise Fe_2Al_5 intermetalik fazı oluşumunu engelleyerek, daha güçlü ve daha yumuşak bir yapı meydana getirdiği görülmüştür [30].

Fauzi, Uday, Zuhailawati, ve Ismail (2009) çalışmalarında; farklı malzemelerin birleşebilme kabiliyetini anlayabilmek için seramik ve metal alaşımları arasındaki intermetalik fazlar üzerinde çalışmışlardır. Günümüzde sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş alümina ve 6061 alüminyum alaşımlı kaynak kalitelerini ölçebilmek için optik ve elektron mikroskoplarıyla dört kaynak noktasından gerilim ve mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Kaynak süresince faz oluşumlarını anlayabilmek için ayrıca EDS analizi yapılmıştır. Alümina/6061 Alüminyum malzemelerin sürtünme kaynağında, sürtünme basıncı ve sürtünme zamanı sabit tutularak, dönme hızı değiştirilmiştir. Dönme hızının etkisiyle 6061 Al malzemesinde deformasyon miktarı alümina malzemedenden daha fazla meydana geldiği görülmüştür. Malzemelerde ısıdan etkilenen, az ve çok deformasyona uğrayan bölgeler olmak üzere üç bölge keşfedilmiştir. Bununla birlikte dönme hızının artmasıyla tamamen plastik

deformasyona uğramış bölgenin kalınlığı artmıştır. Ayrıca 2500 rpm'de en iyi bağlantı dayanımı ve mikrosertlik değerlerinin elde edildiği görülmüştür [31].

Tüm bu çalışmaları göz önüne alarak biz bu çalışmada; A356 matrisli 44 µm boyutunda %6 oranında SiC partikül takviyeli metal matrisli kompozit ile Ç1030'nin sürtünme kaynağı yöntemi ile birleştirilebilirliğini araştıracağız.

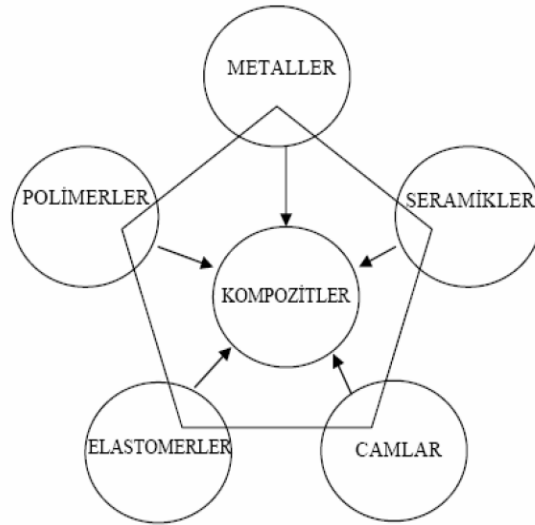
3. KOMPOZİT MALZEMELER

3.1 Giriş

İstenen amaç için tek başlarına uygun olmayan farklı iki veya daha fazla malzemeyi istenen özellikleri sağlayacak şekilde belirli şartlar ve oranlarda fiziksel olarak, makro yapıda bir araya getirilerek elde edilen malzemeye kompozit malzeme denir.

İçyapıları çıplak gözle incelendiğinde (makroskobik muayene) yapı bileşenlerinin seçilip ayırt edilmesi mümkündür. Yapılarında birden fazla sayıda fazın yer aldığı klasik alaşımlar ise makro ölçüde homojen olmalarına rağmen mikro ölçüde (mikroskobik muayene ile seçilebilen) heterojen malzemelerdir.

Kompozit malzemelerde yapıyı oluşturan bileşenler birbiri içinde çözünmezler, kimyasal olarak inert davranırlar. Ancak özellikle metalik sistemlerde düşük oranlarda bile olsa, bir miktar çözünme bileşenler arasında kompozit özelliklerini etkileyebilen ara yüzey reaksiyonları görülebilir[32].



Şekil 3.1 Kompozit Malzemelerin Üretildikleri Malzeme Sınıfları [33]

Kompozit malzemelerin avantajı, bileşenlerinin en iyi özelliklerini bir araya getirmesidir. Kompozit malzemelerin üretimi ile aşağıdaki özelliklerin bir ya da birkaçının geliştirilmesi amaçlanır.

- 1) Yüksek mukavemet
- 2) Aşınma dayanımı
- 3) Yorulma dayanımı
- 4) Kırılma tokluğu
- 5) Korozyon dayanımı
- 6) Yüksek sıcaklık performansı
- 7) Isıl ve akustik iletkenlik
- 8) Maliyet
- 9) Estetik görünüm
- 10) İmalat kolaylığı.

3.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

3.2.1 Takviye Elemanı Şekline Göre Kompozitlerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler kullanılan takviye elemanının şekline göre beş sınıfa ayrılabilir. Bunlar partikül takviyeli, fiber takviyeli, levhasal, tabakalı ve doldurulmuş kompozit malzemelerdir. Şekil 3.2’de kompozit malzemelerin takviye elemanının şekline göre sınıflandırılması örnek mikroyapı resimleri ile birlikte gösterilmiştir.

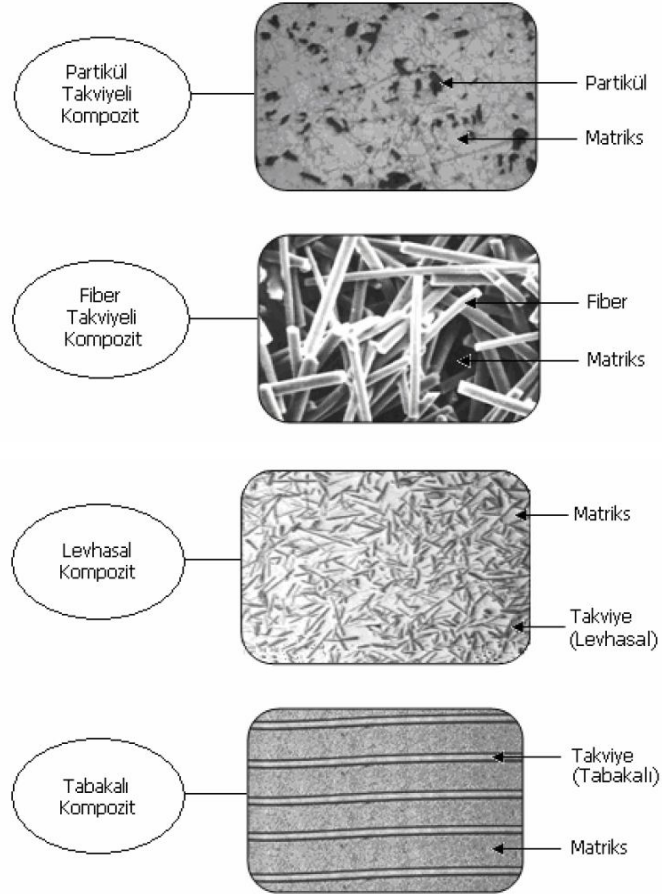
Partikül takviyeli kompozitler: Bu tip kompozitler, makroskobik veya mikroskobik partiküllerin matris ile oluşturdukları malzemelerdir. Ortalama gömülen parçacık boyutu 1 mm’ den büyük ve takviye hacim oranı genelde % 50’den fazla kullanılmamaktadır.

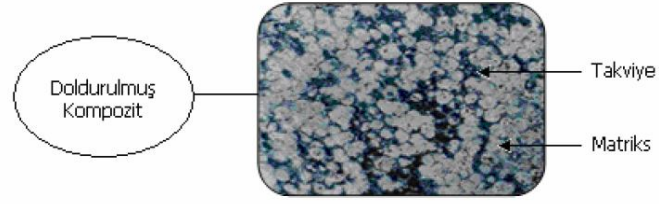
Fiber takviyeli kompozitler: Bu tür malzemelerde, matris kompozite gelen yükü fibere iletir, yükün çoğu fiber tarafından taşınır ve özellikleri anizotropiktir. Fiber formları; örgülü, şerit fitil veya tabakalar halinde yönlü olarak kullanılır.

Levhasal kompozitler: Matris fazı içindeki levha şekilli takviye elemanlarından oluşan kompozitlerdir. Al-grafit sistemi levhalar; pullar, cam, mika ve metal olabilir. En çok bilinen metal levhalar AlB_2 ve Be levhalardır.

Tabakalı kompozitler: Bu tür kompozitler farklı bileşenli plakaların sandviç (üst üste) şeklinde birleştirilmesiyle elde edilir. Bu kompozitler, matris içerisine rasgele yönlenmiş, tek yönlü veya çift yönlü fiber takviyeli tabakalardan oluşmaktadır.

Doldurulmuş kompozitler: Sürekli bir iskelet yapıya sahip takviye malzemesi formunun matris bir malzeme ile doldurulmasından üretilen kompozitlerdir. Matris malzemesinin daha önceden hazırlanmış preform (köpük) yapıya basınçlı, basınçsız ya da döküm yoluyla emdirilmesi ile elde edilir.





Şekil 3.2 Kompozit Malzemelerin Takviye Elemanının Şekline Göre Sınıflandırılması [33]

3.2.2 Matris Malzemesi Cinsine Göre Kompozitlerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler, kullanılan matris malzemesinin cinsine göre ise beş ana sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar polimer matris, metal matris, seramik matris, karbon/karbon ve nano kompozit malzemelerdir (Şekil 3.3).

Metal matris kompozitler (MMK): Bu malzemeler ana yapıyı matris metalin oluşturduğu ve takviye elemanı olarak da genellikle seramik bir takviye fazının kullanıldığı kompozitlerdir. Bu malzemelerin seçiminde hemen hemen hiçbir sınırlama yoktur. Deneysel çalışmalara bakıldığında çok farklı türlerin kullanıldığı göze çarpar. Son 45-50 yıldır MMK'ler ile ilgili pek çok araştırma yapılmış ve literatürde olumlu şekilde yer almıştır. Metal matris kompozitler geleneksel malzemelere en büyük alternatiftir. Seramiklerin yüksek elastik modülü ile metallerin plastik şekil değiştirme özellikleri birleştirilerek aşınmaya dayanıklı, kırılma tokluğu ve basma gerilmesi yüksek malzemeler elde edilmektedir. Bu kompozitler yaygın olarak otomotiv, havacılık ve savunma sanayinde kullanılmaktadır.

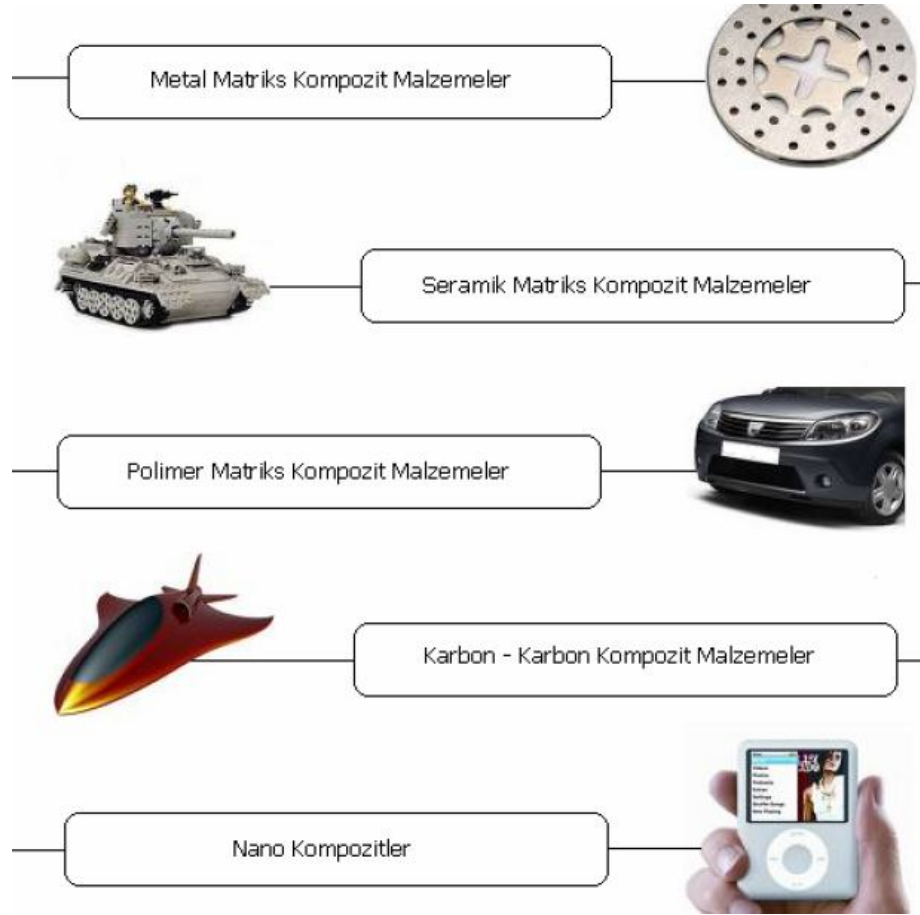
Seramik matris kompozitler (SMK): Seramik malzemeler çok sert ve kırılmandır. Ayrıca yüksek sıcaklık dayanımlarına ve göreceli düşük yoğunluk özelliklere sahiptirler. Seramik malzemeler ısıl şok direnci ve tokluğu düşük malzemelerdir. Bunlar; Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 , B_4C , B4C, cBN, TiC, TiB, TiN ve AlN'dir. Bu bileşikler değişik yapılarda olup amaca göre bir ya da bir kaçını beraber kullanılarak seramik matris kompozitler elde edilir. Sandviç zırhlar, çeşitli askeri

amaçlı parçalar imali ile uzay araçları bu ürünlerin başlıca kullanım yerleridir. Seramik matrise ilave edilen karbon, seramik ve cam fiberler özellikle yüksek sıcaklık uygulamaları gibi özel şartlar için geliştirilmektedir. Seramik malzemelerin seramik fiberler ile takviye edilmesi durumunda, mukavemet yükselmekte ve tokluklar da artmaktadır. Alümina ve zirkonya esaslı seramik kompozitler üzerindeki son yıllardaki çalışmalar, bu malzemelerin sadece roket başlığı, uzay araçları gibi uygulamalarda değil aynı zamanda insan vücudunda da biomalzeme olarak kullanılmaya başlanmasına sebebiyet vermiştir.

Polimer matris kompozitler (PMK): Sürekli fiber takviyeli olarak yaygın kullanılan polimer matrisler termoset ve termoplastikler olarak iki gruba ayrılır. Bu kompozitlerin sürekli fiberlerle takviye edilmiş polyester ve epoksi reçine matrisli olanları en önemlileridir. Kullanılan takviye malzemelerinin başlıcaları ise, cam fiber, kevlar fiber, bor fiber ve karbon fiberlerdir. PMK'lerin üretiminde en çok kullanılan yöntemler, elle sıvama, tel sarma, kese kalıplama işlemi, pultrüzyon metodu, sıvı akış tekniği, takviyeli reaksiyon, enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon ve termo oluşum yöntemleridir. PMK'lerin başlıca kullanım alanları ise, korozyon direnci sebebiyle denizcilik uygulamaları, hafifliği sebebiyle otomotiv ve diğer taşımacılık endüstrileri ile spor malzemeleri, yanmazlık özelliği istenen otomotiv iç dekorasyonu gibi alanlar olarak gösterilebilir.

Karbon-karbon kompozitler (KKK): Karbon - karbon kompozitleri, saf karbon partiküllerinin (primer karbon bileşeni olarak tanımlanır) karbon esaslı bağlayıcı (bu malzeme karbonizasyon işlemi esnasında sekonder karbon bileşenini oluşturur) ile J karışımından elde edilir. Neticede, malzemenin tümü karbon olup karbonlar iki farklı şekilde bulunur. Bunlardan biri, dolgu (primer) diğeri ise bağlayıcı (sekonder) niteliğinde olan karbondur. Matris malzemesi olarak kullanılan karbonun birim ağırlıktaki ısı kapasitesi oldukça yüksektir. Roket ağızlarında, uzay araçlarında bulunan koruyucu kalkanlarda, debriyaj ve fren balata-disk sistemlerinde kullanılmaktadır. Bu malzemeler yüksek teknoloji gerektiren askeri ve uzay alanlarındaki uygulamalarına nispeten düşük hacim sağlamasına karşın, katma değeri yüksek ve oldukça pahalı malzemelerdir.

Nano Kompozitler (NK): Nano kompozitler mineral nano dolgulu ve %10'dan daha az miktarda nano boyutlu mineral içeren kompozit malzemelerdir. Kullanılan nano boyutlu parçacıkların boy-en oranı ve yüzey alanının çok yüksek olmasından dolayı kompozitlerin mekanik, yanmazlık, ısıl ve bariyer özellikleri çok iyi yönde geliştirilebilmektedir. Bu kompozitlerin üretilmesinde daha çok ergimiş metal karıştırması, toz metalürjisi ve mekanik alaşımlama kullanılır [33].



Şekil 3.3 Kompozit Malzemelerin Kullanılan Matris Malzemesinin Cinsine Göre Sınıflandırılması [33]

Kompozit malzemelerin günümüz teknolojisindeki önemi hızla yükselmektedir. Özellikle metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler hafiflik, rijitlik, ısı direnci, yüksek mukavemet, iyi aşınma direnci gibi birçok özelliklerinden dolayı geniş kullanım alanı bulmuştur. MMK malzemelerinin uygulama alanlarının sürekli artışı, bu malzemelerin şekillendirilmesinin hızlı ve ekonomik bir şekilde yapılmasını gerekli kılmaktadır. İstenen geometrinin, boyut hassasiyetinin ve yüzey

kalitesinin elde edilmesi gereklidir. Talaşlı imalat yöntemleri, imalat endüstrisinde en yaygın kullanılan yöntemlerdir ve MMK malzemelerinin işlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar, bu konudaki büyük gelişmeleri ortaya koymaktadır [34].

3.3 Metal Matrisli Kompozit Malzemeler (MMK)

Metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler, istenen ve gerekli özellikleri sağlamak üzere en az biri metal olan iki veya daha fazla farklı malzemenin sistematik bileşimiyle elde edilen yeni malzemelerdir [35]. Metal matrisli kompozit malzemeler, yerlerine kullanıldıkları metal ve diğer bazı malzemelere göre daha iyi mekanik ve ısıl özelliklere sahiptirler.

Toz metalurjisine alternatif olarak geliştirilen döküm ve reaksiyonla metal matrisli kompozit üretim tekniklerinin ucuz ve pratik olmasından dolayı bu malzemelerin kullanımı artmaktadır. Seramiklerin yüksek elastik modül ve metallerin yüksek süneklik özelliklerini birleştiren bu malzemeler, havacılık ve savunma sanayi yanında otomotiv endüstrisinde de kullanılmaya başlanmıştır.

Cam fiber takviyeli plastikler ile kıyaslandığı zaman metal matrisli kompozit malzemeler yüksek sıcaklıklardaki performansları açısından çok daha üstündür. Metal matrislerin mukavemeti ve elastik modülü geniş bir sıcaklık aralığında reçine matrisli malzemelerden daha yüksektir.

Metal matrisli kompozit malzemeler üzerine ilk çalışmalar sürekli fiber takviyeli kompozitler üzerinde olmuştur. Sürekli fiber takviyeli kompozit malzemelerin üretim kademesinin kompleks ve yüksek maliyetli olması, bu tür kompozitlerin fabrikasyonunu zorlaştırmış, istenen maksimum performansın alınmasını önlemiştir. Sürekli fiberlerin bu tip problemleri olması sebebiyle alternatif olarak süreksiz fiberler ve whiskerler ticari olarak kullanım alanı bulmuşlardır.

Partikül takviyeli metal matrisli kompozit malzemeler; yüksek elastik modülü ve mukavemeti, yüksek aşınma direnci, üretimleri kolay, çok çeşitli ve düşük maliyetli olarak üretilmeleri sonucu bu konu üzerinde çalışmalarda önemli hale

gelmişlerdir. Partikül takviye çeşidinin fazla olması ve üretim yöntemlerinin çok çeşitli olması geniş çalışma alanları sağlamaktadır.

Kompozit malzeme üretilmesinde matris ve takviye malzemesi beraber karıştırılır. Bir kompoziti elde etmek için başlangıçta farklı bileşenler seçilir. Matris bir metaldir. Ancak matris olarak saf metalin kullanılmasına çok seyrek rastlanır [36].

MMK'leri yapısal malzeme olarak kullanmak için, çok önemli avantajlara sahiptir. Bu avantajlar, aşağıda gösterilen şekilde sıralanabilir;

- Yüksek dayanım,
- Yüksek elastiklik modülü,
- Yüksek sağlamlık ve darbe özellikleri,
- Termal şok veya değişen sıcaklıkları karşı düşük hassasiyet,
- Yüksek yüzey dayanıklılığı ve yüzey hatalarına karşı düşük hassasiyet,
- Yüksek elektrik ve ısı iletkenlik,
- Yüksek çevresel vakum direnci

Bütün bu özellikler aynı zamanda oluşamaz ve herhangi bir uygulama için böyle bir gereksinime ihtiyaç yoktur. Yukarıda belirtilen bu özellikler için gerekli şartlar, uygun matris ve takviye eleman çifti, üretim tekniği, optimizasyonu, bileşenlerin mukavemet özellikleri ve diğer faktörler göz önüne alınarak üretim yapılırsa istenilen özelliği elde etmek mümkündür. Uygun matris/takviye elemanı seçiminin, sistemin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi büyüktür.

Kompozitler karma malzeme olduklarından bu şartları sağlamak ve elde etmek için en iyi matris ve elyaf çifti seçilmelidir. Bu avantajlar yanında bazı dezavantajlar da vardır ve bunlar aşağıda belirtilmiştir;

- Üretim güçlüğü,
- Pahalı olması,
- İşlenmesinin güç olması yanında maliyetin yüksek oluşu,
- İstenen yüzey kalitesinin elde edilemeyişi,

- Diğer malzemeler gibi geri dönüşümün olmayışı,
- Kırılma uzamasının az oluşu gibi faktörler sayılabilir [34].

3.3.1 MMK'larda Kullanılan Matrisler

Metal matrisli kompozitler için matris malzemesi olarak genellikle hafif metaller tercih edilmektedir. Matris malzemesi olarak MMK malzemelerde, alüminyum ve alaşımları ilk sırayı almaktadırlar. Bu alaşımların tercih edilmesinin nedeni düşük yoğunluk, düşük ergime sıcaklığına sahip olmaları ve birçok seramik takviye elemanını kolay ıslatabilmeleridir. Alüminyum saf olarak kullanılabilirdiği gibi alaşım olarak ta kullanılabilir. Yüksek aşınma dayanımı ve düşük sürtünme değerleri için Al-Si alaşımları, düşük yoğunluk ve yüksek termal iletkenlik için Al-Mg ve Al-Cu alaşımları matris alaşımı olarak kullanılabilir.

Yüksek performanslı kompozit malzeme üretimi için matris malzemesi, takviye fiberleri veya partikülleri iyi ıslatabilmeli, iyi bir arayüzey bağı oluşturmalı, mümkün olan en düşük basınç ve sıcaklıkta hızlı şekilde katılma yapabilmelidir. Ayrıca üretim esnasında veya bundan sonraki işlemler esnasında, matris ve takviye elemanı arasında diğer kimyasal etkileşimler olmamalı ve matris kararlı kalmalıdır.

Metal matrisli kompozit malzemelerde, matris malzemesi olarak genellikle Al, Ti, Mg, Ni, Cu, Co ve Zn gibi metaller ve alaşımları kullanılır. Fakat bunlardan sadece Al, Ti ve Mg alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır [35].

3.3.2 MMK'larda Kullanılan Takviyeler

Metal matris kompozit malzemelerde takviye malzemeleri genelde daha sert, daha mukavemetli ve aşınma dayanımı daha yüksek seramik karakterli malzemelerdir. Metal matris malzemelerde takviye malzemesi olarak en çok arı bileşiklerinden oluşan ileri teknoloji seramikleri kullanılır. İleri teknoloji seramikleri oksitler, karbürler ve nitrürler olarak üç gruba ayrılırlar. Metal matris kompozit üretiminde takviye malzemeleri çoğunlukla sürekli fiber, kısa fiber, visker yada

partikül formlarında kullanılır. Takviye malzemelerinin en-boy oranı bize bu formları sınıflandırmamızı sağlar. Çizelge 3.1’de bazı önemli takviye malzemeleri gruplar halinde listelenmiştir. Metal matris kompozit malzemelerde takviye malzemesi olarak sürekli fiber formunda Al_2O_3 , $Al_2O_3 + SiO_2$, B, C, SiC, Si_3N_4 , Nb-Ti ve Nb_3Sn , whicker süreksiz fiber formunda SiC, TiB_2 ve Al_2O_3 , süreksiz kısa fiber formunda Al_2O_3 , SiC, $Al_2O_3 + SiO_2$ ve karbon fiberler, partikül formunda SiC, Al_2O_3 , TiC, B_4C ve WC kullanılır. Seramik takviye malzemeler yüksek sıcaklık yeteneği ile yüksek mukavemet ve elastik modül kombine edilmiştir. Sürekli seramik fiberler, seramik partikül takviye malzemelerden daha maliyetlidir.

Çizelge 3.1. MMK Malzemeler İçin Bazı Önemli Takviye Malzemeleri [33].

Sürekli Fiberler	Al_2O_3 , $Al_2O_3 + SiO_2$, B, C, SiC, Si_3N_4 , Nb-Ti, Nb_3Sn
Süreksiz Fiberler	
(a) Viskerler	SiC, TiB_2 , Al_2O_3
(b) Kısa Fiberler	Al_2O_3 , SiC, $Al_2O_3 + SiO_2$, Karbon fiberler
Partiküller	SiC, Al_2O_3 , TiC, B_4C , WC

Silisyum karbür

Silisyum karbür; simgesi SiC, yoğunluğu $3,22 \text{ g/cm}^3$, ergime noktası 2730°C , oda sıcaklığında katı, koyu gri renkte, silisyum ve karbürün karışımı olan seramik formunda bir malzemedir. Doğada meteor kaynaklı demirde bulunmuştur. 70’e yakın kristal formu vardır ve en çok kullanılan olanı α -SiC, 2000°C ’nin üzerindeki bir sıcaklıkta şekil verilir. β -SiC ise çinko sülfür kristal yapısı ile elmasa benzer şekildedir. β -SiC’da 2000°C ’nin üzerindeki bir sıcaklıkta şekil verilir. Aşınma dayanımının yüksek, elde edilebilirliği kolay ve maliyeti düşüktür.

Metal matris kompozit malzeme üretiminde matris içine sürekli fiber, kısa fiber, visker ve partikül formlarında katılabilir. Silisyum karbür, metal matris kompozitin aşınma dayanımını ve mukavemetini önemli ölçüde artmasına neden olur. Silisyum karbür (SiC) kuvvetli kovalent bağ yapısında yapay bir malzeme olup, Acheson tarafından 1891’de tesadüfen sentezlenmiştir.

Al_2O_3 ’den daha sert ve ısıya daha dayanıklıdır. Ayrıca korozyona karşı yüksek dayanım gösterir. Bu yüzden yaygın olarak hem aşındırıcı hem de refrakter olarak kullanılır. Demir-çelik yapımında metalürjik katkı olarak da kullanılır, elektriksel özellikleri nedeniyle ısıtıcı elementlerde ve elektrik devrelerinde kullanılırlar.

SiC temel yapısı tetrahedraldır. SiC’ün farklı formları, SiC tetrahedralarının birbirlerinin üzerine yığılmaları ile oluşan tabakalar ve tekrarlayan SiC birimlerinin oluşturduğu bu tabakaların sayısı ile temsil edilir. Acheson fırınında sentezlenen SiC kristallerinde, 4H, 6H, 15R veya 3C formları yaygın olarak görülür. Bunların dağılımı hammaddenin kalitesine ve üretim koşullarına göre değişir; H, R, C sırasıyla hegzagonal, rombohedralve kübik yapıları, rakamlar ise tabaka sayılarını göstermektedir. β -SiC’e ait olan 3C dışında diğer formların tamamı α -SiC’e aittir. En sık karşılaşılan 3C, 4H, 15R ve 6H tipleri X-ışınları difraksiyon teknikleri ile saptanabilirler.

Bor karbür

Bor karbür, simgesi B_4C , yoğunluğu $2,52 \text{ g/cm}^3$, ergime noktası $2350 \text{ }^\circ\text{C}$, oda sıcaklığında katı, siyah renkte ve rombohedral kristal yapısına sahip bir malzemedir. Bor karbür, metal olmayan en önemli gruba ait olup, elmadan sonra en sert malzemedir. Mükemmel özellikleri arasında ekstrem sertliğidir. Elmas ve kübik Bor Nitrür (cBN)’den sonra en sert malzeme diyebiliriz. Birçok kimyasal reaksiyonlara karşı dayanımı çok yüksektir. Diğer mükemmel özelliği ise düşük yoğunluğu ile ısı dayanımıdır. İçerik bakımından yaklaşık % 80 bor ihtiva etmesi, bileşiğinin yüksek ergime noktası ve iyi kimyasal ve fiziksel kararlılığından dolayı nötronların absorbe

edilmesinde bor karbür daha etkin ve daha ekonomiktir. İçeriğinde yüksek bor ihtiva etmesi, bor karbürü diğer bor bileşikleri üretmede önemli bir kaynak kılmaktadır. Bor karbür 2500°C de, bor oksit bileşimi ve karbondan elde edilmektedir. Bileşimdeki sınır aralıkları (bor oranları) nispeten muhteliftir. Bor/karbon oranı 3,8 den 10,4'e kadar; teknik bor karbür için aşağı yukarı değer aralıkları ise 3,9 den 4,3'e kadar değişmektedir. Yüksek ergime sıcaklığı, yüksek sertlik, düşük yoğunluk, kimyasal maddelere karşı üstün direnç, yüksek nötron absorblama özelliğine sahip olma ve üstün mekanik özellikleri nedeniyle bor karbür, günümüzde ileri teknolojinin önemli bir malzemesidir. Bor karbür özellikle, nükleer reaktörlerde, hafif zırh üretiminde ve yüksek sıcaklık malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Diğer takviye malzemeleri

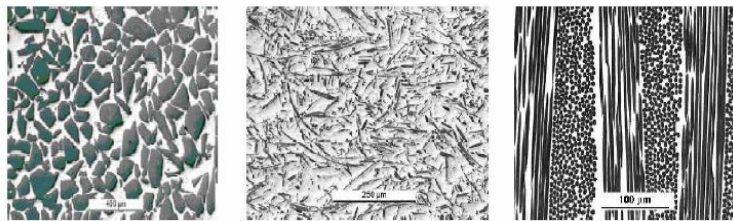
SiC ve B₄C'ün yanı sıra birçok seramik malzeme metal ve alaşımları ile takviyelendirilerek kompozit malzemeler üretilebilir. En çok kullanılan takviye elemanları; silisyum karbür, bor karbür, titanyum karbür tungsten karbür, alümina, zirkonya, magnezya, silisyum oksit, bor oksit, silisyum nitrür, alüminyum nitrür, bor nitrür, bor, karbon ve karbon fiberlerdir. Metal matris kompozit malzeme üretiminde takviye malzemesinin seçilmesinde, takviye elemanının elde edilebilirliği, matris malzemesi ile uyumluluğu ve kazandıracığı özellikler dikkate alınmalıdır. Çizelge 3.2'de metal matris kompozit üretiminde kullanılan bazı önemli partiküllerin özellikleri, Çizelge 3.3'de ise sık kullanılan fiber ve visker özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.2 MMK Üretiminde Kullanılan Partikül Takviye Malzemelerinin Özellikleri [33].

Partikül Takviye Malzemeleri	Yoğunluk (g/cm ³)	Mukavemet (Mpa)	Elastik Modül (GPa)
Karbür partiküller			
SiC	3,22	3100	324
B ₄ C	2,52	2579	448
TiC	4,93	55	269
ZrC	6,73	90	359
Oksit partiküller			
Al ₂ O ₃	3,98	221	379
MgO	3,58	4100	417
ZrO ₂	5,89	83	132
CeO ₂	6,9	600	200
ThO ₂	9,86	193	200
Nitrür partiküller			
AlN	3,26	2069	310
Si ₃ N ₄	3,18	4100	250

Çizelge 3.3 MMK üretiminde kullanılan fiber ve viskerlerin bazı özellikleri [33].

	Fiber Çapı (mm)	Yoğunluk (g/cm ³)	Mukavemet (Mpa)	Elastik Modül (GPa)
Fiber				
SiC	10-15	2,55	2760	200
SiC kaplı B	120	2,6	3000	400
W çekirdekli B	100	2,6	3800	400
C çekirdekli B	100	2,3	3300	370
Al ₂ O ₃	20	3,9	1500	380
Cf(PAN)	8	1,8	4000	300
E-Camı	11	2,55	1750	76
Paslanmaz çelik	100	7,8	4250	210
Visker				
a-SiC	visker	3,15	20000	485
Al ₂ O ₃	visker	3,9	16000	550
AlN	visker	3,3	14000	335
BeO	visker	1,8	14000	700
B ₂ O ₃	visker	2,5	7000	450
MgO	visker	3,6	10000	310
Si ₃ N ₄	visker	3,2	8000	380
Grafit	visker	2,25	21000	450



Şekil 3.4 Takviye Malzemesinin Geometrisine Göre Metal Matrisli Kompozitler, a- partikül takviyeli, b- kısa fiber takviyeli, c- sürekli fiber takviyeli [35].

Çizelge 3.4 Bazı Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri [35]

Metal Matrisli Kompozit Malzeme	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)	Kopmadaki Uzama Miktarı (%)
<u>Sürekli fiberli</u>			
Al 2024-T6 (%45 Bor)	1458	220	0,810
Al 6061-T6 (%51 Bor)	1417	231	0,735
Al 6061-T6 (%47 SiC)	1462	204	0,89
<u>Süreksiz fiberli</u>			
Al 2124-T6 (%20 SiC)	650	127	2,4
Al 6061-T6 (%20 SiC)	480	115	5
<u>Partikül Takviyeli</u>			
Al 2124-F (%20 SiC)	552	103	7,0
Al 6061-F (%20 SiC)	496	103	5,5
<u>Güçlendirilmiş</u>			
Al 2124-F	455	71	9
Al 6061-F	310	68,9	12

Genellikle, bir metal alaşımı olan metal matris ve metaller arası bileşik, oksit, karbür veya nitritten oluşan bir takviye elemanından meydana gelirler [36].

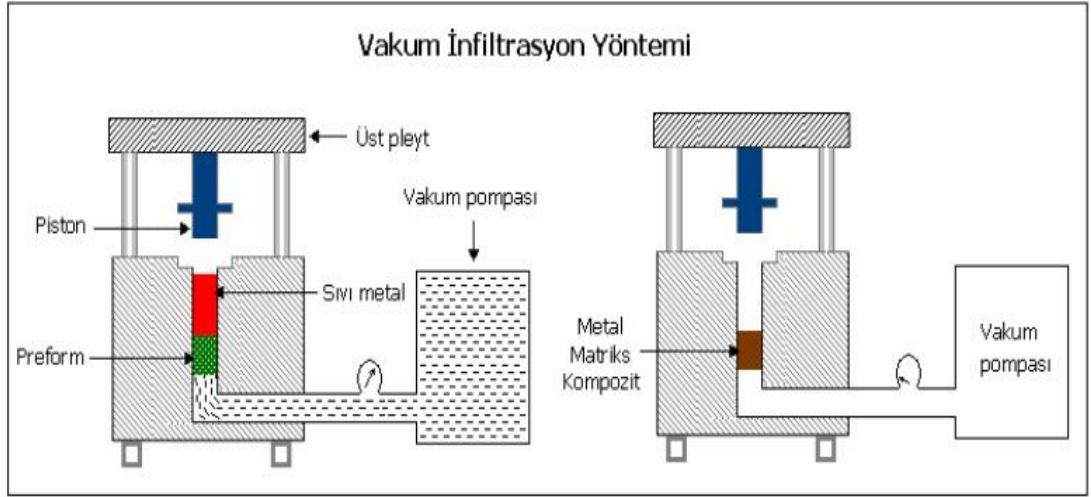
3.3.3 MMK Üretim Yöntemleri

Metal matrisli kompozit malzemeler birçok teknikle üretilmektedir. Uygun yöntemin seçiminde metal matris kompozit malzemedeki istenen özellikler, sınıf, maliyet, ürün sayısı, takviye elemanının dağılımı (partikül yada fiber), matris alaşımı ve uygulama alanı dikkate alınır. Metal matris kompozit malzemenin üretim yönteminin seçilmesinde işleme adımı da diğer göz önüne alınması gereken bir özelliktir. Metal matris kompozitlerin üretilmesini sıvı faz üretim teknikleri, katı hal üretim teknikleri ve buhar fazı üretim tekniği olarak üç ana gruba ayırmak mümkündür. Vakum infiltrasyonu, gaz basınçlı infiltrasyon, mekanik basınçlı metal enjeksiyon infiltrasyonu, sıkıştırılmalı döküm infiltrasyonu ve karıştırmalı döküm sıvı

hal üretim tekniklerine örnek gösterilebilir. Katı hal üretim teknikleri ise toz metalürjisi, difüzyonla bağlama, sıcak presleme, sıcak izostatik presleme ve ekstrüzyondur.

Vakum İnfiltasyon Yöntemi

Vakum infiltasyon yöntemi, metal matris kompozitlerin üretilmesinde kullanılan infiltasyon türüdür. Bu yöntemde sıvı metal oksidasyonunu ve gaz boşluğu olasılığını indirmek için vakum kuvveti uygulanmaktadır. Şekil 3.5’de görüldüğü gibi kalıp boşluğuna seramik karakterli gözenekli preform yerleştirilir. Sıvı metal matris alaşımı vakum etkisi ile gözenekli seramik preform içine emdirilir. Gözenekli seramik preforma sıvı matris alaşımı tamamen emdirildikten sonra nihai ürün yani kompozit malzeme kalıptan çıkarılır. Vakum infiltasyon yöntemi çok düşük infiltasyon direnci olan metal matris kompozitler için kullanılır. Bu yöntem bazen basınçlı gaz ya da sıkıştırılmalı döküm ile kombine şeklinde kullanılır.

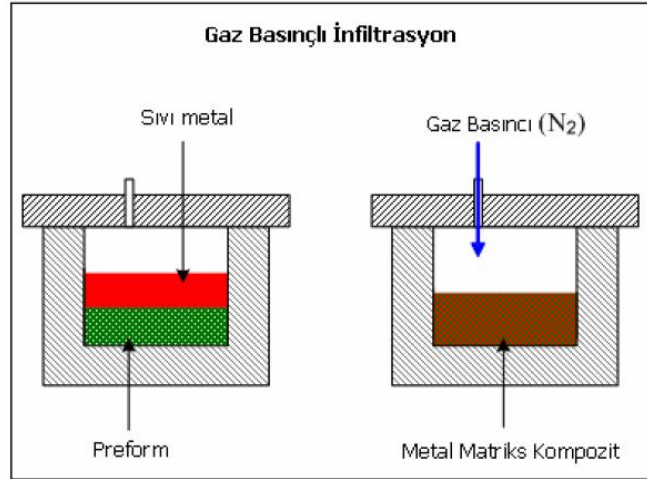


Şekil 3.5 Vakum İnfiltasyon Yönteminin Şematik Gösterimi

Gaz Basınçlı İnfiltasyon Yöntemi

Gaz basınçlı infiltasyon yönteminde genelde azot gazı kullanılır. Şekil 3.6’da görüldüğü gibi gözenekli seramik preform alt kısma, sıvı metalde üst kısma gelecek

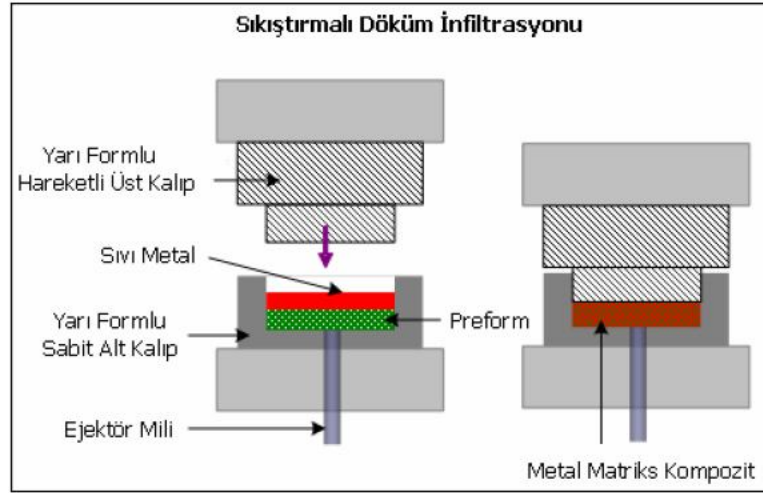
şekilde kalıba yerleştirilir. Sıvı metal yüzeyine azot gazı (N_2) belirli basınçla uygulanır, bu gaz basıncı itici etkisi ile sıvı metali, gözenekli seramik preform içerisine doğru infiltre etmeye zorlar. Sıvı metal gözenekli seramik preforma emdirildikten sonra numune soğumaya bırakılır ve daha sonra kalıptan çıkarılır. Böylece metal matris kompozit malzeme üretilmiş olur.



Şekil 3.6 Gaz Basıncı İnfiltrasyon Yönteminin Şematik Gösterimi

Sıkıştırılmalı Döküm İnfiltrasyon Yöntemi

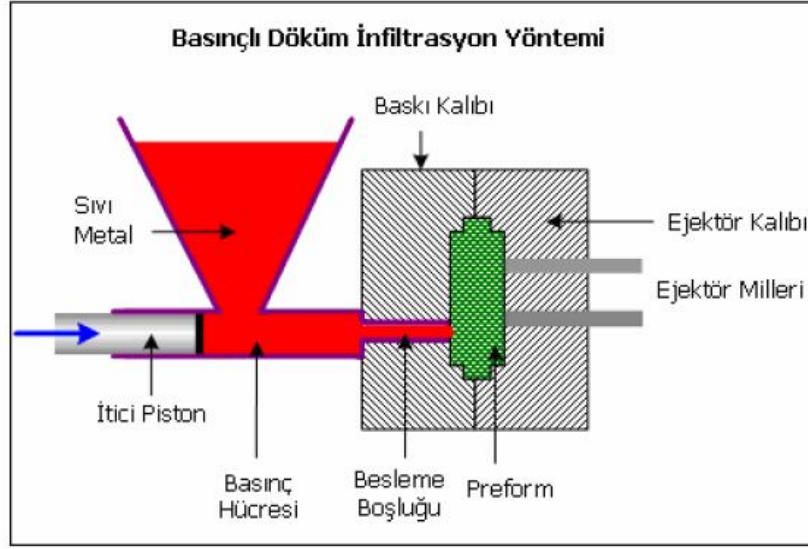
Sıkıştırılmalı döküm infiltrasyonunda gözenekli seramik preform kalıba yerleştirilir. Şekil 3.7'de görüldüğü gibi sıkıştırılmalı döküm infiltrasyon sisteminde alt kalıp ve hareketli üst kalıp bulunmaktadır. Üst kalıp sıvı metale mekanik basınç uygulayarak sıvı metalin gözenekli seramik preformun içerisine doğru nüfuz etmesini sağlar. İnfiltrasyon işlemi tamamlandığında numune soğutulur ve kalıptan çıkarılarak metal matris kompozit malzeme üretilmiş olur.



Şekil 3.7 Sıkıştırılmalı Döküm İnfiltasyonu Yönteminin Şematik Gösterimi

Basınçlı Döküm İnfiltasyon Yöntemi

Basınçlı döküm infiltasyon yöntemi; basınçlı döküm ve infiltasyon yöntemlerinin kombine şeklidir. Bu yöntemde, gözenekli seramik preform basınçlı döküm cihazı içerisindeki kalıba yerleştirilir. Haricen ocakta eritilen sıvı alüminyum Şekil 3.8’de görüldüğü gibi konik pota içerisinde dökülür, daha sonra yüksek mekanik basınç altında sıvı alüminyum besleme boşluğundan geçerek gözenekli seramik preforma enjekte edilir. Bu yöntem diğer yöntemlerden farklı olarak itici piston yardımı ile sıvı metale yüksek mekanik basınç uygular. Bu yöntem sıkıştırılmalı döküm infiltasyonuna benzemektedir, farklı olarak basınç değeri ve sıvı metal ilerleme hızı yüksektir. İnfiltre uygulaması 1-2 saniye gibi kısa sürelerde gerçekleştirilir. Seri üretime uygun olan bu yöntem özellikle otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılır.

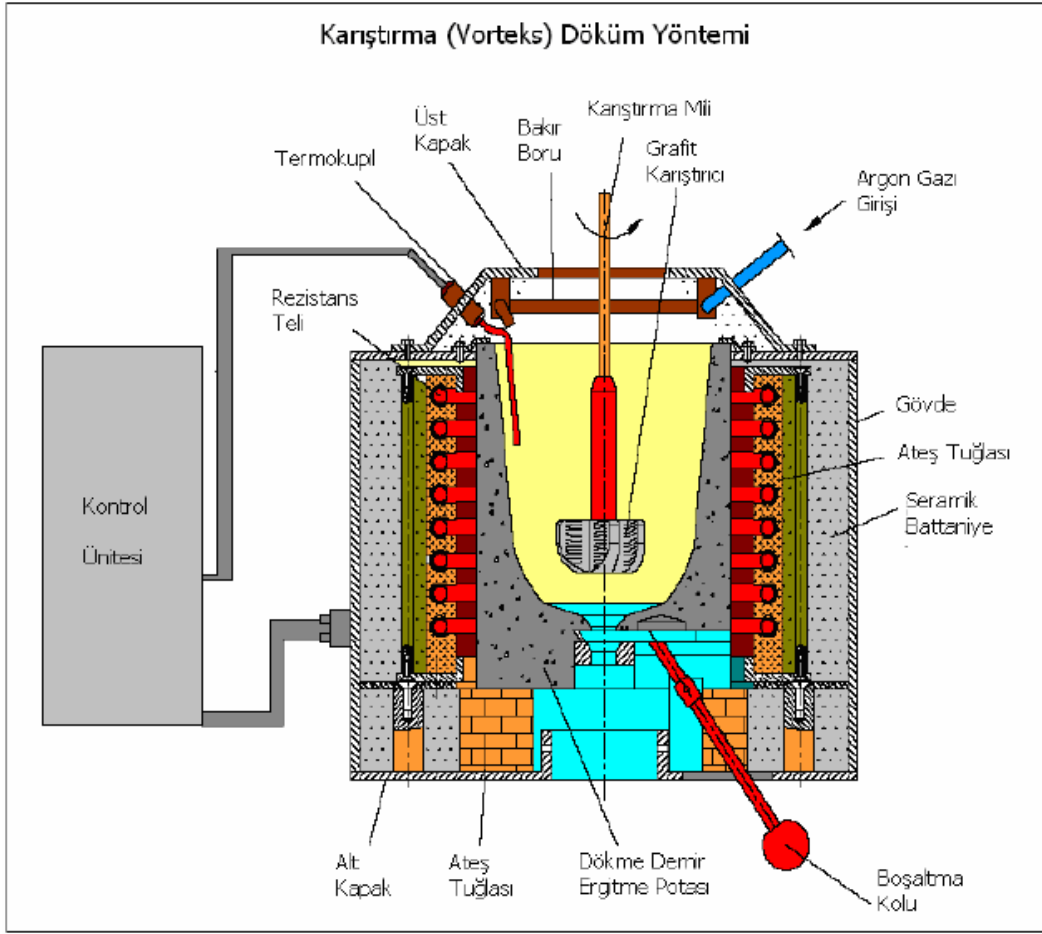


Şekil 3.8 Basınçlı Döküm İnfiltrasyonu Yönteminin Şematik Gösterimi

Karıştırmalı (Vorteks) Döküm Yöntemi

Karıştırma (vorteks) döküm yönteminde, matris alaşımı sıvı-katı aralığına getirilir. Şekil 3.9'da görüldüğü gibi bir sistemde partikül takviye elamanı bir karıştırıcı yardımı ile sıvı metal matris alaşımına karıştırılır. Bu karışım homojen olana kadar devam eder ve daha sonra karışım kalıba dökülür.

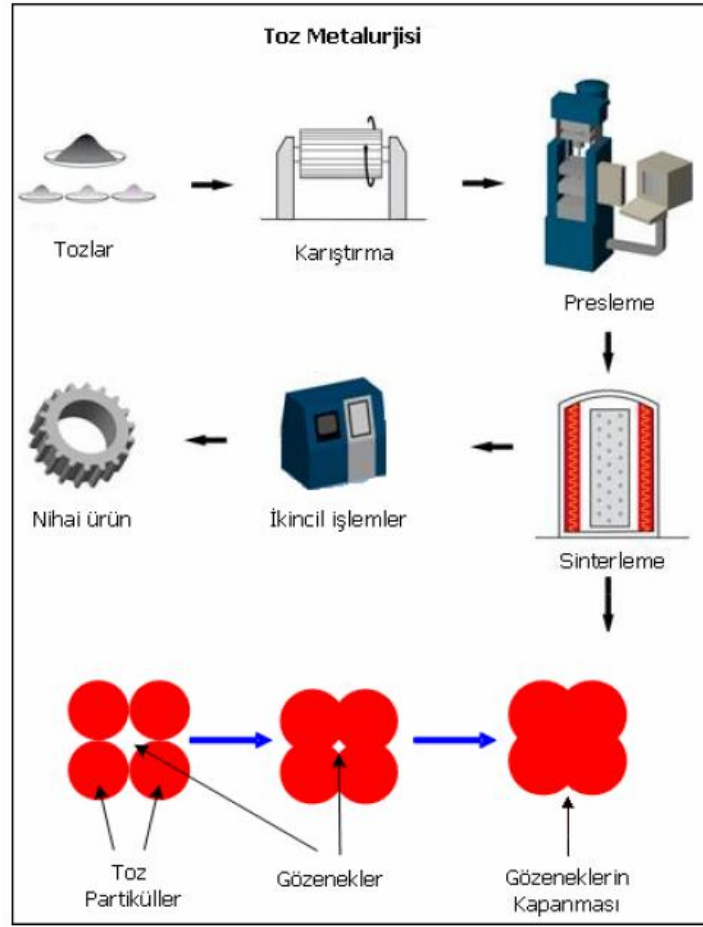
Döküm esnasında takviye fazının yer çekimi etkisi ile çökmesini önlemek amacı ile sıvı metal yerine daha çok yarı katı metal tercih edilmektedir. Kalıpta soğumaya bırakılan numune, soğuma işlemi tamamlandıktan sonra çıkarılır ve metal matris kompozit üretilmiş olur.



Şekil 3.9 Karıştırma Döküm Yönteminin Şematik Gösterimi

Toz Metalürjisi Yöntemi

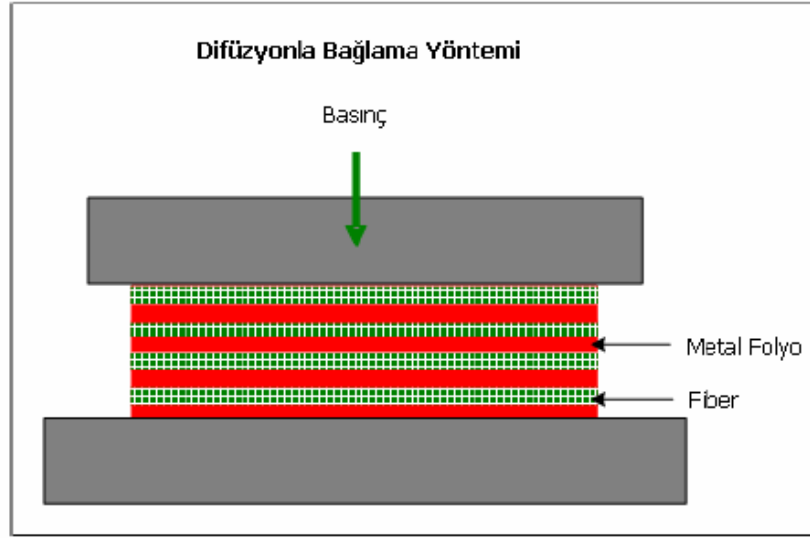
Toz metalürjisi (TM) üretim yöntemi metal tozlarının üretimi ve üretilen bu tozların imalatı istenilen parçaların şekline dönüştürülmesi işlemidir. Bu yöntem toz üretimi, üretilen tozların karıştırılması, tozların preslenmesi, sinterleme ve isteğe bağlı işlemler (infiltrasyon, yağ emdirme, çapak alma, vb.) olmak üzere belirli aşamalardan oluşur. Bu yönteme ait imalat basamakları Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Toz Metalurjisi Döküm Yönteminin Şematik Gösterimi

Difüzyonla Bağlama Yöntemi

Difüzyon ile bağlama yönteminde birleştirme işlemi yüksek basınç ve sıcaklıkta yapılır. Bor karbür, silisyum karbür, karbon ve alüminyum oksit gibi tek tabakalı fiber ya da fiber demetleri ile titanyum veya alüminyum gibi matris malzemeleri tabakalar halinde yüksek basınç ve sıcaklıkta bağlanması ile kompozit malzemeler oluşturulur. Bu yöntemde matris alaşımları ile fiber formundaki takviye fazına etkili difüzyon için kimyasal yüzey işleme uygulanmaktadır. İstenen özellikler göz önünde bulundurularak fiber yönü, açıları ve aralık ölçüleri belirlenerek fiberler metal tabakalar üzerine yerleştirilir. Tabakalardan oluşan yapı, matris alaşımının ergime sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta ısıtılarak difüzyon ile bağlanmanın gerçekleşmesi için preslenir veya haddelenir. Şekil 3.11’de difüzyonla bağlama yöntemi şematik olarak gösterilmiştir.

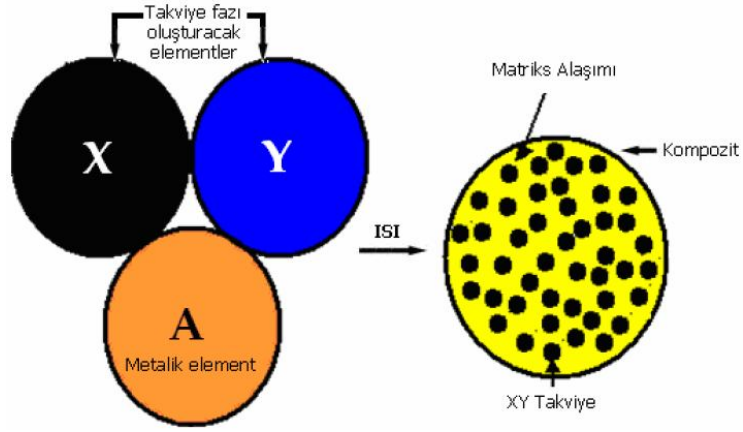


Şekil 3.11 Difüzyonla Bağlama Yönteminin Şematik Gösterimi

İn-Situ (yerinde oluşan) Yöntemi

Metal matrisli kompozitler üretim yöntemleri bakımından in-situ (yerinde oluşan) ve ex-situ (ilave edilerek oluşan) olarak ikiye ayırmak da mümkündür. Ex-situ kompozitler; önceden hazırlanmış olan seramik güçlendiricilerin sıvı metale ilave edilmesi veya önceden hazırlanmış seramik preforma sıvı metalin emdirilmesi esasına dayanmaktadır.

İn-situ kompozitler ise; Şekil 3.12’de sembolik olarak gösterildiği gibi takviye fazının, sıvı metal içerisinde element veya bileşiklerin ekzotermik reaksiyonları sonucu kendiliğinden oluşturulması esasına dayanır. İn-situ MMK’ler, takviye ile matris ara yüzeyi temizliği, takviye elemanın matris içerisinde homojen dağılım, matris içerisinde takviye elemanı termodinamik olarak stabil olması, ucuz ve tek adımda üretilmesi gibi ex-situ MMK’lere göre üstün özellikler sergilemektedir [33].



Şekil 3.12 İn-situ Döküm Yönteminin Şematik Gösterimi[33]

3.3.4 MMK Kullanım Alanları

3.3.4.1 Sürekli Fiber Takviyeli MMK Malzeme Uygulamaları

Yüksek maliyetli sürekli fiber katkılı metal matrisli kompozitler, yüksek mukavemet ve ısı direnci gerektiren ancak maliyetin önemli olmadığı veya kaçınılmaz olarak katlandığı alanlarda havacılık, uzay endüstrisi ve enerji sektöründe uygulama olanağı bulmaktadır.

Uzay araçlarının karşılaştıkları çok yüksek sıcaklık ve basınç göz önüne alındığında, yüksek dayanımlı ve hafif malzemelerin kullanılması gereksinimi vardır. Uzay araçlarının karşılaştığı yüksek sıcaklıklar plastik matrisli kompozitler ve bir kaçı dışında geleneksel metaller ve alaşımları için çok yüksektir.

Titanyum ve alaşımları gibi, hafif ve yüksek sıcaklıkta kullanılabilen malzemelere, elastisite modülü yüksek, yüksek dayanımlı seramik veya karbon fiberler katılarak elde edilen metal matrisli kompozitler, uzay araçlarının karşılaşacağı ortamlara dayanma yeteneğine sahip olacaktır. Örneğin, uzay mekikleri, metal matrisli kompozitlerin bu alandaki ilk üretim uygulamalarından birini temsil etmektedir. Ana gövdeyi destekleyen kafes sistemi ile kirişlerde ve iniş takımı parçalarında tek yönlü bor-alüminyum metal matrisli kompozit borular

kullanılmıştır. Gövde kafes sistemini destekleyen 159 kg gelen bor-alüminyum borular %44'lük bir ağırlık kazancı sağlamaktadır.



Şekil 3.13 Karbon Fiber Katkılı Mg Matrisli Kompozit Uydu Destek Parçaları

Uzay yapılarının ortam ve çalışma şartları gereği düşük ağırlık, yüksek rijitlik, düşük ısıl genleşme ve boyutsal kararlılığa sahip olması gereklidir. Bor ve karbon fiber katkılı metal matrisli kompozitler, uzay araçları ve yapılarında, boyutça kritik uygulamalar için yüksek rijitlik ve düşük ısıl genleşme katsayılı malzemeler olarak gelecek kuşak malzemeleri temsil etmektedir.



Şekil 3.14 Uzay Mekiği Gövdesinde Kullanılan Bor Fiber Takviyeli Alüminyum Tüpler

NASA'da yapılan araştırmalarda yüksek dayanımlı ticari Al-alaşımaları ile en son geliştirilmiş üretim süreçlerinin birleştirilmesi sonucu üretilen metal matrisli kompozitler ısıl çevrimler sırasında şekil değişimi göstermemektedirler.

- P100 karbon fiber katkılı 2024 Al alaşımı kompoziti, 1000 ısıl çevrim sonrası bile şekil değişimi göstermemektedir. Bu metal matrisli kompozitler özel işlem süreçleri sonrasında, boyutça kritik uzay yapıları için mükemmel malzemeler haline gelmişlerdir.

- Jet motorları, fan kanatları, uçak kanatlarının yüzeyleri ve yapı destekleri, iniş takımı parçaları, bisiklet iskeleti ve golf sopaları gibi alanlar sürekli bor fiber katkılı metal matrisli kompozitlerin diğer uygulama alanlarıdır.

- Gerek sivil ve gerekse askeri havacılıkta kullanılan uçaklardan beklenen performans giderek artmaktadır. Örneğin, Amerikan Deniz ve Hava Kuvvetleri ile NASA yetkilileri Mach 25 orbitalinde ve yüksek irtifalarda 4000-8000 mph hızlarında uçabilecek uçaklar istemektedir. Bu hızlarda uçağın gövdesi boyunca sıcaklığın 760°C'ye, burnunda ise yaklaşık 1800°C'ye erişeceği hesaplanmaktadır. Bu amaçla Avco's Specialty Materials Division (Lowell, MA, USA) silisyum karbür ve titanyum aluminiti kimyasal olarak buhar kaplama ile birleştirilmektedir. Bu yolla üretilen 14µm çaplı SiC fiberleri kumaş gibi dokunarak titanyum levhaları arasına koyulup sıcakta preslenir. Avco patentli bu teknoloji oldukça pahalıdır.

- Elektrik iletkenliği ve elektronik devre kartları, entegre ve hibrid devre yapımı uygulamalarıyla ilgili olarak zift esaslı karbon fiberler, fiber boyunca çok yüksek elastisite modülüne, ısı iletimine ve negatif ısıl genleşme katsayısına sahiptir.

- Ancak fiberler, enine düşük modüle ve yüksek ısıl genleşme katsayısına sahiptir, başka bir deyişle bu fiberlerin özellikleri çok anizotropiktir. Hitachi Ltd'nin Gradia (Cu- %20 C fiber) kompozitinden yapılmış kaymalı elektrik kontaktörleri düşük ısıl genleşme katsayısı ile yüksek elektrik iletkenliğini birleştirmesi nedeniyle geleneksel malzemelerden daha yüksek performans gösterirler. Bunlara benzer şekilde bor fiber takviyeli alüminyum kompozitlerde elektriksel uygulamalarda sıklıkla kullanılır.

- Otomotiv sektöründe ise bu konuda öncü olan Japon otomotiv sektörü olmuştur.

- Otomotiv endüstrisinde metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde ve uygulanmasında öncü olan Japon Toyota firması alümina fiber katkılı dizel motor pistonlarını yaklaşık olarak 20 yıldır üretmektedir. Bilineceği gibi bu uygulamada hafiflik, spesifik modül ve mukavemet, yorulma özellikleriyle birlikte aşınma direnci

önemlidir. Bu konu üzerinde yoğun araştırmalar yapan diğer bir firmada Honda firmasıdır.

3.3.4.2 Partikül, Kısa Fiber ve Whisker Takviyeli MMK Malzeme Uygulamaları

Yaygın olarak kullanılan yapısal amaçlı metaller ve alaşımlarla karşılaştırıldığında metal matrisli kompozitler çok daha yüksek spesifik modül ve spesifik mukavemet değerleri göstermektedir. Bu nedenle yapısal amaçlı metal matrisli kompozitler, ağırlık bakımından kritik uygulamalar için hem başlangıçta hem de işletme ömrü boyunca oluşacak maliyetlerin düşürülmesi fırsatını vermektedir.

Özellikle Amerikan havacılık sanayi bu konuda öncü niteliğindedir. Savaş uçaklarının gövde, kanat ve kuyruklarında kullanılabilecek SiC whisker katkılı metal matrisli kompozit malzemeler bazı firmalar tarafından üretilmektedir. Askeri amaçlı yapı, örneğin güdümlü füze uygulamalarında parçalarda hafiflik, boyut kararlılığı ve gövdedeki parçaların birbiri ile birleştirilmesinde ısıl genleşme katsayılarının uyumluluğu gerekli olduğu için malzeme seçimi çok önemlidir.

Metal matrisli partikül veya kısa fiber takviyeli kompozit malzemeler otomotiv endüstrisinde önemli bir konuma sahiptir. Yüksek spesifik modülleri ve yorulma dayanımları, aşınma dirençleri, düşük ısıl genleşme katsayıları bu alanda kullanımlarını sağlayan özelliklerden bir kaçıdır. Metal matrisli kompozitler açısından bir başka önemli husus araç ağırlığındaki % 10-20'lik azalmanın beraberinde yakıt tüketiminde % 5-10 gibi bir iyileşmeyi getirmesidir. Bu özellikler, günümüz otomobillerinde metal matrisli kompozitlerin kullanımını arttırmaktadır.

Otomotiv endüstrisinde kısa fiber, whisker veya partikül katkılı metal matrisli kompozitlerde genelde, uygun özellikleri nedeni ile matris malzemesi olarak alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. Yolcu ve yük taşıtlarında bu kompozitler, öncelikle hafiflikleri sebebiyle şaft olarak kullanım alanı bulmaktadır. Spesifik

modüllerinin hem çelikten hem de alüminyumdan önemli miktarda yüksek olabilmesi nedeniyle bu kompozitlerde daha uzun şaft üretmek mümkündür. Bu uygulama için genellikle 6xxx serisi Al alaşımları kullanılmaktadır.

Otomotiv endüstrisinde, bu kompozitlerin diğer bir yaygın kullanım alanı fren diskleri olup, öncelikli yararı disklerdeki % 50-60'lık ağırlık azalmasıdır. Dökme demirden bir fren diski 5.4 kg iken, partikül takviyeli MMK fren diski 2.5 kg'dır. İvmelenme artışı ve fren mesafesinin azalmasının yanında dökme demirden yapılmış olanlara oranla MMK fren disklerinde fren gürültüsü azalırken, daha homojen sürtünme ve daha az aşınma oluşmaktadır. Ayrıca fren diskinin ulaştığı sıcaklık da önemli bir tasarım parametresidir. En çok karşılaşılan sıcaklıklar 300 °C ve altındaki sıcaklıklar iken 450°C gibi yüksek sıcaklıklara da rastlanılmaktadır. Genel olarak MMK malzemelerin basma dayanımı yüksek olması istenen yerlerde kullanımı tercih edilmektedir.

Toplam araç ağırlığını azaltmak üzere tüm büyük otomobil üreticileri, dökme demir motor bloklarının yerine alüminyum esaslı kompozit motor bloğu teknolojileri geliştirmektedirler.

- Bu değişimin ağırlık kazancı 15-35 kg kadardır. MMK malzemeden üretilen motor blokları boyutsal kararlılık ve blok rijitliğini geliştirerek motordaki sürtünmeyi azaltıp motorun verimini arttırmaktadır.

- Silindir bölgesi 200 °C ye kadar aşırı sıcaklık ve yanma yüklenmelerine maruz kaldığından aşınma direnci, yorulma ve sürünme gibi özellikler de önemli olmaktadır.

- Yapılan testlerde, dökme demirlerle karşılaştırıldığında, % 10-20 hacim oranında Al_2O_3 veya SiC partikül katkılı silindir gömleklerinin çok daha iyi özelliklere sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 3.14 SiC Partikül Takviyeli Al Metal Matrisli Kompozit Silindir Gömleği
Görülmektedir



Şekil 3.15 Partikül Takviyeli MMK Kompozit Fren Elemanları

Partikül takviyeli MMK malzemeler havacılıkta da kullanım alanı bulmuşlardır. Uçakların gövde elemanlarının imalatında kullanım alanları gittikçe artmaktadır.

- Şekil 3.16'da F-16 uçaklarında kullanılan SiC partikül takviyeli 6092 Al alaşımı matrisli MMK malzeme görülmektedir.

- Ayrıca bazı helikopterlerin pervanelerinde ve uçuş tertibatlarında bu kompozitler kullanılmaktadır.



Şekil 3.16 F-16 Uçağı Gövdesinde Partikül Takviyeli
MMK Malzeme Kullanımı

Seramik whisker ve kısa fiber takviyeli MMK malzemeler, otomotiv uygulamalarında ve askeri uygulamalarda kullanılabilirler.

- SiC whisker takviyeli MMK malzemeler, gelişmiş askeri tanklarda palet malzemesi olarak kullanılmakta, bu sayede tankın ağırlığı azaltılmaktadır.

- Kısa fiber takviyeli MMK malzemeler otomobillerde, piston ve silindir uygulamalarında kullanılabilirler.

- Basınçlı dökümle üretilen, grafit ve alümina takviyeli MMK motor bloğu Şekil 3.17'de verilmiştir



Şekil 3.17 Grafit ve Alümina Takviyeli AMMK Motor Bloğu

MMK malzemeler otomotiv endüstrisinde diğer bir kullanım şekli de biyel koludur. Biyel kolu için öncelikli tasarım özelliği 150-180°C'de yüksek ömür sağlayan yorulma dayanımıdır.

- Bu uygulama için uygun kompozitlerden biri, toz metalurjisi ile üretilmiş 2080 Al matrisli %15 SiC partikül takviyeli metal matrisli kompozittir. Bu kompozit, belirtilen sıcaklıklarda çok iyi yorulma dayanımına sahiptir. Metal matrisli kompozitlerin otomotiv endüstrisinde diğer bir kullanımı ise piston ve silindir gömlekleridir.

- Al-Gr partikül takviyeli kompozit malzemedan yapılmış piston ve silindir gömleklerinin, içten yanmalı motorlarda kullanımının önemli miktarda yakıt kazancı sağlarken aynı zamanda bu parçalarda aşınmanın da azaldığı görülmüştür.

• Ayrıca Honda firması 1990'dan beri alümina ve karbon kısa fiber takviyeli alüminyum silindir gömleklerinin üretimini gerçekleştirmektedir. Şekil 3.18 ve 3.19'da alüminyum esaslı kompozit malzemelerden üretilen motor parçaları görülmektedir.



Şekil 3.18 SiC Partikül Takviyeli Al Kompozit Biyel Kolu



Şekil 3.19 Alümina Kısa Fiber Takviyeli Alüminyum Kompozit Piston

Fiber takviyeli MMK malzemeler ise yüksek mukavemet ve yüksek elastiklik modülü gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadırlar.

• Örnek olarak, karbon fiber takviyeli MMK malzemeler Hubble uzay teleskobunun anten dalga kılavuzu olarak kullanılmaktadır.

• Bor fiber takviyeli 6061 alüminyum alaşımı matrisli kompozit malzemeler, uzay mekiklerinin ana kargo bölümlerinde destek elemanı olarak kullanılmaktadırlar.

• Şekil 3.20'de yüksek spesifik mukavemete ve elastiklik modülüne sahip hacimce %50 bor fiber takviyeli 6061 alüminyum alaşımı matrisli MMK kompozit malzemenin uzay mekiği kargo bölümünde destek olarak kullanımı görülmektedir.



Şekil 3.20 Uzay Mekiği Destek Parçası Olarak Kullanılan Fiber Takviyeli MMK Malzeme [35]

MMK malzemeler spor endüstrisinde de kullanım alanı bulmuşlardır.

- MMK malzemeden üretilmiş tenis raketleri, kayaklar, kayak sopaları, golf sopaları, bisiklet parçaları mevcuttur.
- Partikül takviyeli metal matrisli kompozit malzemeler, elektronik ve optik uygulamalarda da kullanılmaktadır.
- Elektronikte, entegre ve hibrid devre yapımında, özellikle ısıl genleşme katsayısının düşük olması nedeni ile bu tür kompozitler kullanılır.
- Optik sistemlerde de, uzay teleskopları, yansıtıcı ayna malzemeleri ve kızıl ötesi görüntü tarama sistemleri parçaları olarak kullanım alanları vardır [35].

Metal matrisli malzemelerin bu üstünlüklerinden dolayı, bu çalışmada Al esaslı SiCp takviyeli kompozit malzemelerin sürtünme ile kaynak edilebilirliği araştırılmıştır. Çalışma konumuz olması nedeni ile Al-SiCp metal matrisli kompozitler daha yakından incelenecektir.

3.4 Alüminyum Esaslı SiCp Partikül Takviyeli MMK Malzemeler

Matris malzemesi; polimer, seramik veya metal karakterli, kuvvetlendiriciler partikül, fiber veya lameller şeklinde olabilmektedir. Bu kuvvetlendirici türlerden parçacık esaslı olanları, esas itibariyle izotropik kabul edilebilmektedir ve çeşitli döküm ve toz karıştırma metoduyla rahatlıkla üretilebilmektedir. Böylece istenilen şekiller elde edilebilir. Parçacık (partikül) esaslı sistemler ayrıca diğer sistemlere göre çok daha düşük maliyete ve oldukça iyi rijitliğe de sahiptirler. MMK üretiminde kullanılan takviye elemanları hafif ve genelde kovalent bağa sahip olmalarından dolayı kuvvetli bağ yapısına sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı özellikle kara taşımacılığı, hava sanayi, enerji endüstrileri ve inşaat sektörlerinde uygulama alanı bulmaktadır [37].

3.4.1 Partikül Takviyeli Alüminyum MMK

3.4.1.1 Takviye Partikülün Seçimi

Metal matrisli kompozit malzeme üretiminde başlıca kullanım gören partikül çeşitleri Al_2O_3 , SiC, Gr, TiC ve ZrO_2 'dir. Takviye seçimini etkileyen faktörler aşağıda verilmiştir.

Uygulama

Eğer kompozit yapı uygulamalarında kullanılacak ise, elastiklik modülü, dayanım ve yoğunluk önem kazanır. Bu da düşük yoğunluk ve yüksek modüllü takviye kullanımı gerektirir. Partikül şeklide önemli olabilir. Köşeli ve dar açılı partikül sünekliği azaltır. Isı uygulamalarında kullanılacak kompozitte, termal genişleme ve iletkenlik dikkate alınmalıdır, çünkü dayanıma etki ederler.

Üretim metodu

Genel olarak iki temel yöntem mevcuttur.

- a) Toz metalurjik

b) Ergiyik metal yöntemleri

Toz metalurjik yöntemde, homojen bir karışım elde edilmeye çalışılır. Harmanlamadan sonra aglomerat oluşumunu engellemek için toz boyutları dikkatli seçilmelidir. SiC/Al kompozit üretiminde partikül boyut oranı 0.7/1 dir. Tipik Al- toz boyutları 20-40 mikro metredir ve takviyenin partikül boyutları 3-20 mikro metredir. Boyut oranı <5:1'dir.

Ergiyik metal yöntemi ile üretilen kompozitler için farklı yorumlar mevcuttur. Bu proseslerin bazılarında, takviye seramik partiküller ergiyik matris ile uzun bir süre temasta kalabilirler ve reaksiyona sebep olurlar. Takviyenin reaksiyona girmesi, kompozitin özelliklerini düşürür. Dolayısıyla takviye seçimi yapılırken, matris alaşımı, işlem süresi ve sıcaklık dikkate alınmalıdır.

Takviyenin partikül boyutu önemlidir çünkü daha büyük partiküllerin ergiyik içerisine ilavesi kolaydır. Fakat büyük partiküller yığılmalara yol açarlar ve oldukça fazla segregasyonlu döküm yapısı oluştururlar.

İnce partiküller ise, eriyik viskozitesini artırırlar ve döküm işlemini zorlaştırırlar. Birçok ergiyik metal prosesinde ideal kabul edilen 10-20 mikrometre boyutlu seramik partiküller kullanılır.

Maliyet

Takviyenin partikül olarak kullanılmasının başlıca sebebi, kompozit maliyetini düşürmesidir. Takviyenin istenilen boyut, miktar ve şekilde hazır olarak temini mümkün olmalıdır. Bu düşünce ile iki tip takviye Al_2O_3 ve SiC ilgi görmektedir.

3.4.1.2 Matris-Takviye Reaktivitesi

Özellik / performans ilişkisinin ve üretim yönteminin bakış açısından metal matrisli kompozitler ele alındığında matris ve takviye ara yüzeyi, merkezi bir önem

taşımaktadır. Matris ve takviye fazları arasındaki ıslatma özelliğini arttırmak önemli bir hedef ve amaç olmaktadır.

Metal matrisli kompozitler malzemenin üretimindeki ana zorluk takviye/metal arasındaki zayıf ıslatma ve bağlanmadır. Islatma özelliğini geliştirmenin üç yolu mevcuttur.

- Takviye kaplama yapılması: pahalı bir yoldur.

- Kolay işlem ve düşük maliyetli üretim için, matrisin Mg, Ca, Li veya Na ile düşük miktarlarda modifikasyonudur.

- Takviye partikülleri ısı işleme maruz bırakmak,

Takviye yüzeyini tahrip etmeden, takviye/matris ara yüzeyindeki reaksiyonlar dikkatlice kontrol edilerek, ıslatma özelliği geliştirilebilir. Kırılgan intermetalik bileşiklerin takviye yüzeyinde oluşması takviyenin özelliğini kaybetmesine ve mukavemet azalmasına sebep olmaktadır.

Seramik partiküllerin ergiyik metal tarafından ıslatma özelliği çeşitli değişkenler tarafından yönlendirilmektedir.

- oluşum ısısı,
- stokiometri,
- seramik fazdaki valans elektron konsantrasyonu
- ara yüzeydeki kimyasal reaksiyon
- sıcaklık
- temas süresi

Ergiyik ile seramik fazın adhezyonu, karbürlerin oluşum ısısının artması ile azalmaktadır. Stabil karbürlerin yüksek oluşum enerjisi kuvvetli interatomik bağlantılar gösterir, buna mukabellen ergiyik ile zayıf interaksiyon oluşturur. Bu olay, yüksek enerji seviyesi yaratır ve zayıf ıslatma ile sonuçlanır.

Yüksek valans elektron konsantrasyonu genelde karbürlerde düşük stablite yaratır ve bu ıslatma özelliğini arttırır.

Yüksek sıcaklık ve uzun temas süresi metal/takviye ara yüzeyinde oluşan reaksiyonlardan dolayı ıslatma özelliğini geliştirir. Aynı zamanda seramik partiküllerin temas açısını da azaltır.

Takviye ile matris arasındaki ara yüzey bağ mukavemetinin kuvvetli olması, metal matrisli kompozit malzemenin özelliklerinin de iyi olmasını sağlar. Bağ mukavemetini dolayısıyla, sıvı-katı ara yüzeyinde, ıslatmayı etkileyen temel faktör partikül dağılımıdır. Ara yüzeyde partikül dağılımı homojen olmalıdır. Bunun için partikül boyutunu ve katılma hızının yüksek olması, ayrıca ara yüzeyde sıcaklık gradyanının düşük olması gerekir. Partikül aglomerasyonunu önlemek için sıvı matrisin katılması gerekmektedir.

Matris ile takviye ara yüzeyinde etkileşim iki şekilde olmaktadır:

- matris-takviye arasındaki mekanik kilitleme,
- matris-takviye arasındaki bağ oluşumu,

Mekanik kilitlemede, ara yüzey bağ mukavemetinin sıvının yüzey gerilimine galip gelmesi ile ıslatma meydana gelir. Islatma, takviye temas açısına bağlıdır. Islatmanın olabilmesi için temas açısı 90° den küçük olmalıdır. Sonuç olarak takviye reaktivitesi çok değişik açılardan kompozitin davranışına etki etmektedir. Bu unsurlar hem kompozit üretiminde hem de kompozitin kullanımında dikkate alınması gerekmektedir.

3.4.1.3 Kompozitin Mikroyapısı

Mikroyapı görünüşündeki en önemli unsur takviye partiküllerinin dağılımıdır ve bu dağılım üretim metodu ve takip eden imalat işlemlerine bağlıdır.

Ergiyik metal karıştırma metodu ile üretilen kompozitlerde takviye dağılımı çeşitli faktörlerden etkilenmektedir.

- karıştırma sonucundaki dağılım
- karıştırma işlem sonrası ve katılma öncesindeki dağılım

- katılaşmanın sonucunda yeniden dağılmış yapı

Karıştırma işlemi esnasındaki dağılım karıştırma yöntemine bağlı olacaktır. Gaz içermeyen ve mümkün olduğu kadar homojen bir dağılım üretmek zorunludur. Herhangi bir gaz oluşumu partiküllerin etrafında boşluklara sebebiyet verecektir.

Katılaşmadan önce yerçekiminden dolayı partiküller segregasyon oluşturacaktır. Yüksek hacim oranında ve partikül boyutlarında partikülün yerleşmesi engellenecektir. Yerleşme hızı partikülün yoğunluğu ve boyutunun bir fonksiyonu olacaktır ve ayrıca partikül şekli de rol oynayacaktır.

Takviye dağılımını etkileyen üçüncü faktör katılma prosesinin kendisidir. Ötektik altı alüminyum alaşımlarında primer-Al süreksiz seramik fazdan kaçınmakta ve partikül arası mesafe çekirdeklenmektedir. Ancak özel yüzey modifikasyonu teknik veri kullanarak partikül yüzeyinde heterojen bir çekirdeklenme başlatabilir. Partikül sıvı/katı ara yüzey tarafından yakalanır ve katı için heterojen çekirdek olarak etken gösterir. Eğer katılma çekirdeklenmesi oluşmaz ise takviye partiküller sıvı/katı ara yüzeyinden reddedilerek en son katılan bölgeye yığılırlar.

3.4.2 Süreksiz SiC Katkılı Alüminyum Matrisli Kompozitler

Gelişen teknolojinin gereksinimlerini karşılamak üzere halen kullanılmakta olanlardan daha da geliştirilmiş malzemelere olan talep, son yıllarda kompozit malzemeler üzerine yapılan araştırmaları da uyarmaktadır. Bu gelişmelere uygun olarak metal matrisli kompozitlerin ticari olarak üretilmelerinin yanında üretim ve işlenmeleri konularında ki sorunların çözümü içinde yoğun emek harcanmaktadır. Bilindiği gibi whisker, kısa fiber veya tane şeklindeki seramiklere takviye edilen metal matrisli kompozitlere, süreksiz takviyeli metal matrisli kompozitler denilmektedir. Oyun aletlerinden yüksek performans beklenen savunma ve uzay sanayiinde uygulamalara kadar çok değişik alanlarda kullanım olanağı bulmaktadır.

Bu bağlamda ucuz, hafif ve enerji etkili malzemelere olan gereksinim, sert seramiklere takviye edilen alüminyum alaşım matrisli kompozitlerin de gelişmesini

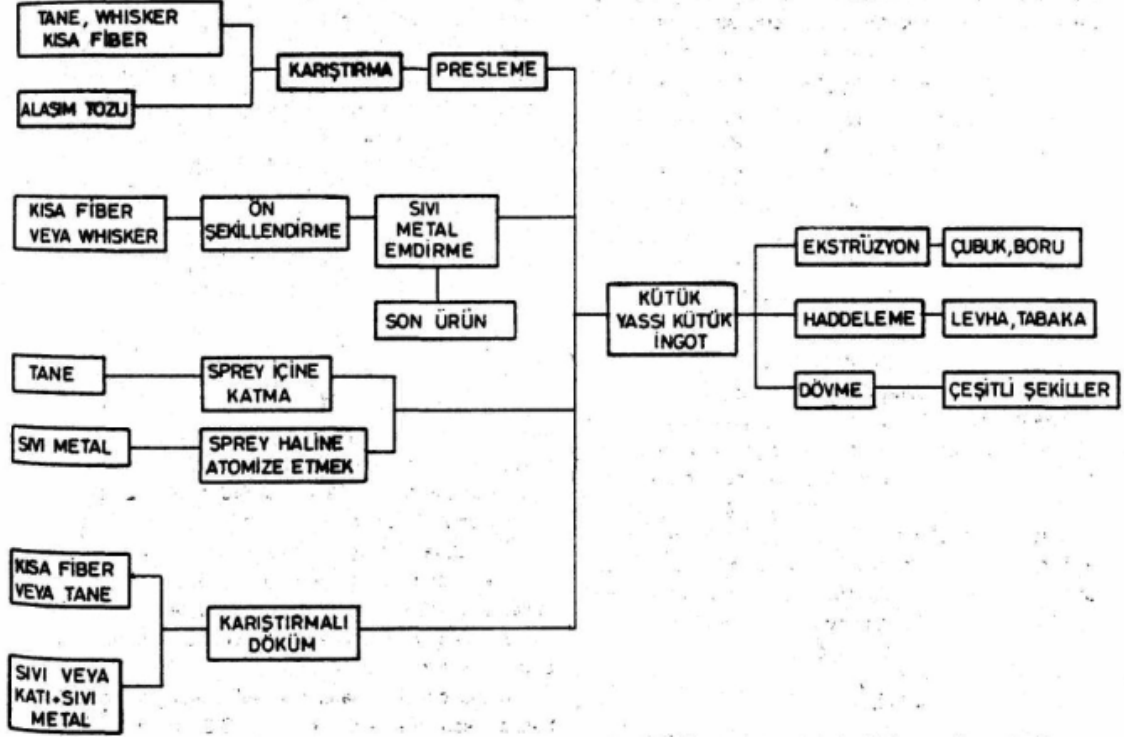
yönlendirmiştir. Süreksiz seramiklere takviyeli alüminyum alaşım matrisli kompozitler üstün mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olmasının yanında izotrop davranışta göstermektedir. Sürekli fiber takviyeli kompozitlerin tersine süreksiz metal matrisli kompozitler geleneksel metalurjik ve mekanik metal işleme teknikleri ve ekipmanları ile üretilerek şekil verilebilmektedir. Bu nedenle de süreksiz metal matrisli kompozitler yapı malzemeleri olarak umut vermektedir.

Metal matrisli kompozitlerin üretim yöntemi, ilave mekanik ve ısı işlemler, matris alaşımının kimyasal bileşimi, takviye fazının cinsi, şekli, miktarı, boyutu ve matris içindeki dağılımı ile belki de en önemlisi matris/takviye fazı arasındaki ara yüzey ve buradaki bağlanma durumu gibi etkenler tüm metal matrisli kompozitlerde olduğu gibi alüminyum metal matrisli kompozitlerinde mekanik ve fiziksel özelliklerini belirtmektedir.

3.4.2.1 Üretim Yöntemleri

Ekonomik olarak süreksiz metal matrisli kompozitlerin üretimi, kompozit malzemenin kendisinin üretimi ve bu kompozitin kullanılabilir ürün şekillerine işlenmesi olmak üzere en az iki aşamada gerçekleştirilir. Şekil 3.21’de verilen üretim yöntemleri katı hal dönüşümlerini sıvı-sıvı, sıvı-katı ve gaz-sıvı reaksiyonları ile tozların karıştırılması gibi işlemleri içerir. Üretim sırasında önemli sorunlardan biri süreksiz takviye fazının, matris içinde topaklanmadan üniform bir şekilde dağılmasını sağlamaktır. Bu sorunlar ilgili olarak Davidson bazı metaller arası bileşiklerin ve özellikle takviye fazı olarak kullanılan SiC ün dağılımının homojen olmaması, hatta yer kümelenmelerinin görülmesi nedeniyle üzerinde çalıştığı Al-metal matrisli kompozitin akma dayanımının (345 Mpa) matris alaşımınınkinden (415 Mpa) daha düşük olduğunu bildirmektedir. Diğer taraftan Dang ve Zhang tarafından doğrulanarak döküm yöntemiyle üretilen A356 / % 15 SiCp kompoziti, matris A356 alaşımınınkinden daha yüksek elastisite modülüne ve akma gerilmesine sahiptir. Tanelerin yüksek dayanımının etkisine ilave olarak, bu tip malzemelerdeki mukavimleşme mekanizmalarının tane dağılımı ile ilgili olduğu bulunmuştur. Üretilen metal matrisli kompozitler, makro boyutta homojen SiCp dağılımına sahip

olmasına karşın, dentritik yapının oluşumu ile meydana gelen kümelenme şeklinde tane dağılımının mikroskobik boyuttaki homojensizliği iç gerilmelerin ve üç eksenli gerilim durumunun sebebi olarak dikkate alınmaktadır.



Şekil 3.21 Süreksiz Seramik Takviyeli Metal Matriksli Malzemelerin Üretim Yolları

[38]

3.4.2.2 Matris Alaşımı

Ara yüzeyler, matris ve takviye arasında yük iletimi kontrol ettiğinden metal matrisli kompozitlerin mekanik davranışlarının incelenmesinde özellikle ve önemle dikkate alınır. Ara yüzey özellikleri, matris kompozisyonuna, takviyenin yüzey özelliklerine, üretim yöntemine ve uygulanan termomekanik işlemlere bağlıdır. Belirli matris-takviye seçeneklerinde ara yüzeylerde matris bileşimini ve takviye fazının özelliklerini değiştiren etkileşimler ve ürünler oluşur. Bu ürünler, mekanik özellikleri iyileştirerek yararlı etkilere veya çatlak başlangıç noktaları gibi davranarak takrip edici etkilere sahiptir. Metal matrisli kompozitlerin dayanımının artırılması yönünde matris/takviye ara yüzeyinin etkisini desteklemek üzere

Webster, akma ve çekme dayanımlarının, lityum içeren Al-alaşımli matrislerde önemli miktarda yüksek olduğu ve lityumun matris/SiC bağıını geliştirdiğini bulmuştur.

Dağınık takviye partiküllerini bir arada tutmaktan çok daha önemli olarak uygulanan yükleri takviye fazına iletme görevini üstlenen matrisin mikroyapısı, takviye fazı ile kimyasal uyumluluğu, takviyeli ıslatabilme yeteneği, kendi mekanik ve diğer özellikleri ile işleme sırasındaki davranışları metal matrisli kompozitlerin son özellikleri de etkilemesi nedeniyle matrisin kompozisyonu önemli olmaktadır. En çok kullanılan Al-matris alaşımları (Al-Cu-Mg), (Al-Mg-Si), ve (Al-Zn-Cu-Mg) serileri ve döküm alaşımlarıdır. Ancak örneğin dövme alaşımları genellikle göreceli yüksek ergiyik konsantrasyonları içerirler. Bunun sonucu olarak katılaşma sırasında ve bazen termomekanik veya ısıl işlemler sırasında iri taneli, kırılğan metaller arası bileşikler oluşur. Böylece süreksiz metal matrisli kompozitler duktilite ve tokluk açısından duyarlı hale gelir. Bu nedenle standart 2024 ve 7075 alaşımlarının yerine daha temiz 2124 ve 7475 alaşımlarının geliştirilmesine yol açmıştır.

Matris alaşımının kompozisyonunun belirlenmesinde dikkat alınacak çok önemli bir konuda, takviyenin ıslatılabilirliği ile aşırı etkileşim arasındaki ikilemi içerir. Matristen takviye fazına iyi bir yük iletimi, kuvvetli bağlara sahip bir ara yüzeyin varlığına bağlıdır. Bu nedenle ıslatmayı sağlayan, bunun yanında takviye fazı ile aşırı reaksiyona girerek bağıın zayıflamasına yol açabilecek dengelere dikkat etmek gerekir. Bilindiği gibi, aşırı etkileşim sonucu Al/SiC ara yüzeyinde sert ve kırılğan Al_4C_3 oluşmaktadır. Bu bağlamda, örneğin Li ve Mg ıslatmayı ve aşırı Al-SiC reaksiyonu yaratmadan ara yüzeylerde bağlanmayı teşvik ederken, Si katkısı ıslatılabilirliği etkilemezken Al_4C_3 oluşumunu azaltır. Ayrıca SiC'ün çözünmesi de Al-matrisin özelliklerini önemli oranda etkileyebilir [38].

4.5 Al Matrisli MMK'lerin Birleştirme Yöntemleri

Kompozit malzemeler içinde alüminyum matrisli kompozitlerin yaygın olarak kullanılmaya başlanmasının ardından, geliştirilen birçok birleştirme

yöntemleri sayesinde geniş uygulama alanları bulmuşlardır. Birleştirme yöntemleri aşağıda görülmektedir.

- Ergitme yöntemi
- Katı hal yöntemi
- Diğer yöntemler

4.5.1 Ergitme Kaynak Yöntemleri

Metal matrisli kompozitlerin ergitme kaynak yöntemiyle birleştirilmesinde birçok zorluklarla karşılaşırız. Bunlar;

- erime noktası üzerindeki erimedenden kaynaklanan yüksek viskozite,
- erime esnasında meydana gelen segregasyon etkisi,
- partikül ve matris arasındaki etkileşim
- kaynak esnasında meydana gelen gaz çıkışları

Sıvılaştırıp karıştırılan metal toplulukları yüksek viskozite eğiliminde olurlar. Bu problem, zengin Si takviyeli alüminyum ya da mümkünse yüksek Si konsantrasyonlu matris alaşımı ile azaltılabilir.

Seramik partiküllerin erken katılaşmasıyla dağılmaları önlenmiş ve bu da partikülden yoksun bölgelerin oluşmasına neden olmuştur. SiC ile takviyelendirilmiş Al matrisli kompozitlerin ergitme kaynağı süresince segregasyonlar meydana gelir. Bu durumda Al_2O_3 partikülleriyle kuvvetlendirilmiş, yüksek Mg konsantrasyonlu matrislerin kullanılması bize yardımcı olacaktır.

Sıcaklığı azaltarak erime viskozitesini düşürmeyi denemek, partikül ve matris arasındaki etkileşimle potansiyel problemin daha kötüye gitmesinde neden olur. Al-SiC kompozitinde Al_4C_3 tabakalar ve silisyum bloklar meydana gelebilir. Sonuç olarak mikroyapıda çatlaklar ve reaksiyon sonucu su olan yerlerde korozyon eğilimi meydana gelir. Bu reaksiyon, elektron ve lazer kaynak çeşitlerinde sıcak kaynak

havuzlarının yaratılmasıyla sıklıkla görülür. Al_4C_3 tabakaların oluşumunu önlemek, kaynak parametrelerinin dikkatli seçilmesiyle mümkün olabilir.

Metal matrisli kompozit malzeme toz metalurjisi ile üretilmişse, ergitme kaynağı süresince meydana gelen gaz çıkışları problem teşkil edebilir. Eğer kapatılan gaz konsantrasyonu çok yüksek ise, ısı etkisi altında kalan bölgede ya da gözeneklerde çatlak yoğunluğunun artmasıyla, gaz (özellikle hidrojen gazı) genişmesi meydana gelebilir. Bu problem tozların manyetik etkileriyle çözümlenebilir.

Alüminyum matrisli kompozitlerin kaynağında, aşağıda yer alan ergitme kaynak yöntemleri kullanılmaktadır.

- TIG kaynağı
- Lazer ışın kaynağı
- Elektron ışın kaynağı
- Kondansatör deşarjlı kaynak

TIG Kaynağı

Birbirine yapışık iş parçaları, tüketilemez ve tüketilebilir olan bir elektrot ve aralarında oluşan elektrik ark vardır. Erimiş metal elektrot dışarıdan ilave gaz ile korunur. TIG kaynağında durum, ilave metal, dışarıdan bir kaynaktan ark içerisine yedirilerek ya da bağlantı bölgesine yerleştirilerek kullanılabilir.

TIG kaynağı, genellikle 6XXX (Al-Mg-Si) serisi alüminyum temelli metal matrisli kompozit malzemelerin kaynağında kullanılır. Düşük sıcaklık girişi ve yüksek Si konsantrasyonu tavsiye edilir. Al_2O_3 ile takviyelendirilmiş, zengin Mg içeren metal matrisli kompozitlerin kullanılması, partiküllerin kaynak havuzuna yığılmasını önler.

TIG kaynağı ile birleştirilmiş Al(6061) metal matrisli kompozitlerde, çözümler ve dağılımlarla birlikte, boron filamentler baş gösterir. Bu problem düşük oranda silisyum içeren ilave metal kullanılarak giderilebilir.

Yüksek kaynak hızıyla otomasyona uygun olan gaz altı kaynağı, metal matrisli malzemelerin kaynağında uygundur. Örnek olarak; 6061 Al temelli B₄C ile takviyelendirilmiş metal matrisli kompozit için gaz altı kaynak metodunun en uygun kaynak yöntemi olduğuna karar verilmiştir.

Lazer Işın Kaynağı

Bu yöntemde, ergime noktasının üzerine kadar ısıtılan katı materyale, optik lensler kullanılarak lazer ışınları odaklandırılır. Bu yöntemde, 10*6 W/cm² gibi çok yüksek enerji kaynağı kullanılır. Bu yüksek enerji kaynağı, metalle ışın çiftlerinin birleşmesi ile malzemelerin birbirine kaynaşmasını sağlar. Sonuç olarak bu yöntemde, dar ısı etkisi altında kalmış bölgelerle ince ve derin kaynaklar elde edilir.

Ne yazık ki, yüksek sıcaklık ve SiC partiküllerle lazer ışınlarının etkileşimi, kaynak bölgesinde, ilk aşamada Si ve Al-Si ötektik, sonrasında Al₄C₃ içeren mikroyapı bölgelerinin oluşmasına neden olur. Bu reaksiyonları, enerji girişini kontrol ederek sınırlandırmak mümkündür. Bu sorunu gidermenin başka bir yöntemi ise, iki MMK parçalarının arasına Ti yerleştirmek yada titanyumu ilave metal olarak kullanmaktır.

Al₂O₃ ve B₄C gibi diğer partikül tiplerinde bu çeşit problemler gerçekleşmez.

Elektron Işın Kaynağı

Bu yöntemde, bağlantı noktası üzerine magnetik lenslerin odaklandırılmasıyla ve oluşturulan elektrik alanına elektron ışınlarının hızlıca nüfuz ettirilmesiyle gerçekleştirilir. Işınlar kaynak bölgesine çarparken yüksek sıcaklık elde edilir. Dar ve derin kaynak bölgesinde, 10^6 W/cm² gibi çok yüksek güç kaynağı tercih edilir. Lazer metodu ile karşılaştırıldığında; elektron kaynağında, istenilmeyen Al/SiC reaksiyonlarının daha az meydana geldiği görülür. Alüminyum matrisli kompozitlerde elektron kaynağında başarıya ulaşılmıştır. Ayrıca yüksek hız ve sıcaklık kullanımının otomatik olarak kontrol altına alınması, bağlantı kalitesini arttırmıştır.

Kondansatör Deşarjlı Kaynak

Kondansatör deşarjlı kaynak, elektrik kapasitörünün hızlı deşarjından meydana gelen enerjinin bağlantı bölgesine uygulanmasıyla oluşan özel ve dayanıklı kaynak çeşitlerinden biridir. Deşarj 5-25 milisaniye gibi çok kısa sürede meydana gelir ve önceki kaynak tiplerine kıyasla daha az istenilmeyen reaksiyonlar elde edilir. Lazer ışın kaynağına göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu, Al/SiC metal matrisli kompozitler üzerinde yapılan birçok denemelerde açığa çıkmıştır.

4.5.2 Katı Hal Kaynak Yöntemleri

Katı hal yöntemleri aşağıda görülmektedir.

- Difüzyon kaynağı
- Sürtünme kaynağı
- Sürtünme karıştırma kaynağı

Difüzyon Kaynağı

Difüzyon kaynağı ile iki katı malzeme birleştirilirken, difüzyonla metalurjik bağlantı sağlamak için, iki parçanın yükselen sıcaklıkla uzun süre (yeteri kadar) basınç altında tutularak birbirine kaynaşması sağlanır. Alüminyum temelli malzemeler için, sıcaklık mesafesi 325-520°C arasındadır. Kaynak zamanı ise malzeme ve sıcaklığa bağlıdır. Yüzeyler çok iyi hazırlanmalıdır. Ra=0,4 µm'den iyi olmak zorundadır. İşlem süresi boyunca vakum ve koruyucu atmosfere ihtiyaç duyulur.

Yüzeyde doğal olarak meydana gelen kuvvetli oksit tabakalarından dolayı, alüminyum alaşımları difüzyon kaynağına özellikle uygundur diyemeyiz. Bununla birlikte, pratik denemelerde, intermetalik faz oluşumlarının görülmemesi difüzyon kaynağının kullanılabilir bir kaynak yöntemi olmasını sağlamıştır. Kütle transferinin kontrollü ve uygun miktarlarda yapılması, kaynak dayanımının değer kaybetmesinin sebebi olan partikül bakımından zengin ve yoksun bölgelerin oluşmasını engellerken, kaynağı başarıya ulaştırır.

Difüzyon kaynağı sıcak borular, radyatörler ve ısıtıcılar gibi sıcaklık transferi olan uygulamalarda tercih edilen kaynak yöntemidir.

Sürtünme Kaynağı

Sürtünme kaynağında, birbirine bağlanacak olan iki parçanın arasında ihtiyaç duyulan sıcaklık, sürtünme ile üretilir. Sürtünme kaynağının bir alt grubu olan ataletsel sürtünme kaynağı, en az biri dairesel simetrik olan parçaların birleştirilmesinde kullanılan yöntemdir. Bu parça, volanın hızlıca dönmesiyle basınç altında malzeme çiftlerinin birbiriyle ilişki kurmasını sağlar. Isının etkisinin artmasıyla intermetalik faz tabakaları oluşur. Normal olarak yani hiçbir soğutucu kullanılmadan, bu kaynaklanmış tabakaların basınç altında soğumasına izin verilir. Bağlantı tabakasının formu, fren kuvveti ile intermetalik fazların uzaklaştırılmasıyla geliştirilir. Akışkan geriliminin kuvvetlendirilmiş partiküllerle arttırılmasının sonucu

metal matrisli kompozitlerin kaynağında, monolitik malzemelere göre daha fazla kuvvete ihtiyaç duyulmuştur.

Sürtünme Karıştırma Kaynağı

Sürtünme karıştırma kaynağı, monolitik malzemelerin kaynağında kullanılan yeni metod olmasıyla birlikte, MMK'ların birleştirilmesinde de tercih edilen kaynak yöntemidir. Geleneksel sürtünme kaynağından farklı olarak, parçaları birbirine birleştirmek için birbirlerine doğru hareket etmezler. Aslında, malzeme yüzeylerinin birbirlerine kuvvet uygulamasını önlemek için bir plaka üzerine kenetlidirler. Bir silindirik dönen kalem bağlantı olacak bölge üzerinde hareket eder, kalem etrafında meydana gelen sürtünme sıcaklığı plastik şekil değiştirme sıcaklığına kadar ısınmasını sağlar. Kaynak yapılacak malzemeye kalemin ön tarafından arka tarafına doğru kuvvet uygulanır, bununla birlikte birleşme çizgisi üzerinde kaynak sağlanır. Bu katı hal birleştirme yönteminde partikül ile kuvvetlendirilmiş matrislerin uniform dağılım kimyaları incelenmektedir. Düşük kaynak sıcaklığıyla, risk oluşturan partikül-matris kimyasal reaksiyonları minimize edilir.

Bununla birlikte, sürtünme karıştırma kaynağı, düz tabaka üzerinde parçaların birleşebilirliğini açığa çıkarmıştır. SiC ile kuvvetlendirilmiş MMK'larda, partikül oranı %25 olan malzemelerin kullanıldığı bulunmuştur. SiC partikülleri, kalemin aşınma eğilimini arttırması nedeniyle bir problem teşkil eder.

4.5.3 Diğer Yöntemler

Diğer kaynak yöntemleri aşağıda sırasıyla görülmektedir.

- Geçici sıvı faz kaynağı
- Sert lehimlemek
- Lehimlemek
- Yapıştırma yöntemi [39]

Geçici Sıvı Faz Kaynağı

Ara kesitte ana metallerin birleştirilecek yüzeylerini ıslatabilecek ince bir sıvı filmi oluşturma ve bu tabakanın izotermal olarak katılaşması esasına dayanmaktadır. Sıvı film ana metal ile ara metal arasında ötektik ve peritektik ergime noktası bulunması halinde, bu sıcaklığa ulaşıncaya meydana gelir. Ara tabaka ile ana malzeme arasında bu sıcaklıkta difüzyon gerçekleşince ötektik ya da peritektik bileşime ulaşıldığında bir sıvı tabaka oluşur [24].

Alüminyumla birlikte Cu, Zn ve Ag matris malzemesi olarak kullanılır. Östenitik sıcaklıklar Al-Cu ve Al-Ag ikili sistemlerde 548°C ve 566°C 'dir. Zaman ve sıcaklık, mikro çatlakları önlemek için minimize edilmelidir.

Sert Lehimleme

Geçici sıvı faz kaynağına benzer olarak, birleştirilecek olan iki yüzey arasında metalik fazların eritilmesiyle yapılır. Bununla birlikte sert lehimleme, alaşımlarda malzemeyi yeterli düşük ergime sıcaklığında ostensitsiz sıvılaştırmak için kullanılır.

Bu metod da en çok kullanılan genel yöntem fırın vakum lehimleme ve daldırma lehimlemedir. Vakum lehimleme, lehimleme devri süresince çok geniş normal basınç değerlerinin kullanıldığı yerler olan düz tabaka uygulamalarında kullanılır. Daldırma lehimleme ise, kimyasal zararları dışarı atmak için kullanılır. Yüzeyde meydana gelen oksit tabakaları lehimleme ile uzaklaştırılmalıdır. Alaşımlı malzemeler ve MMK'ler arasında lehimleme ile yapılan kaynakta sıvı metal gevreklenmesinden kaçınmak için kimyasal yapı kontrol edilmek zorundadır.

Sıcak borular, radyatörler ve ısıtıcılar gibi sıcaklık transferi olan uygulamalarda tercih edilen kaynak yöntemidir.

Lehimleme

Birçok kaynak çeşidine benzemeyen lehimleme, düşük sıcaklık prosesinden oluşur. Proses sıcaklığı 450°C dir.

İşlem sonunda alüminyum üzerinde doğal olarak meydana gelen oksit tabakasından dolayı, bağlantı yüzeyini nemlendirmek için normal çözücüler veya etkili eritkenler kullanılarak tabakalar halinde temizlenmelidir. Lehimleme işleminden sonra, galvaniz korozyona ve sıvı metal çatlaklarına neden olacak çözücülerin ortamdaki uzaklaştırılması önemlidir. Bununla birlikte (Sb-Ag-Ti gibi) tabakaları eriten etkili çözücüler geliştirilmiştir.

Yapıştırma Yöntemi

MMK parçaların birleştirilmesinde, yapıştırma yöntemi en az risk içerir. Bunun sebebi aşağıda sıralanmıştır.

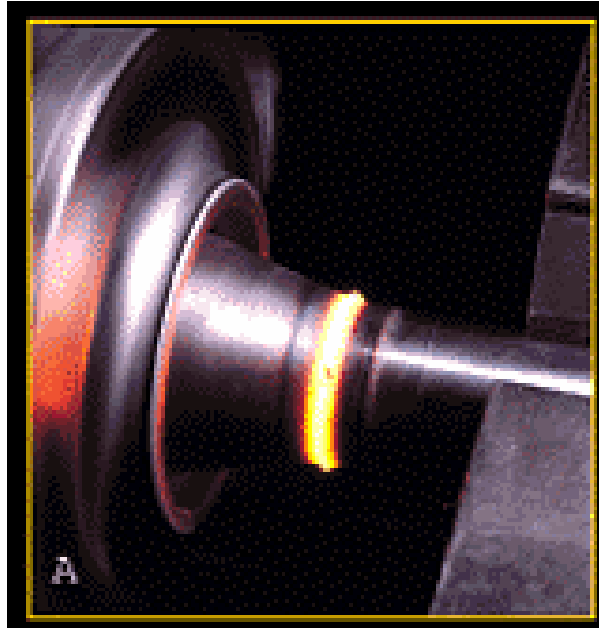
- Takviye elemanlarının fiziksel zarar görmesine neden olan yüksek basınç meydana gelmez.
- Çözücülere uygun olarak korozyon riski yoktur.
- Sıvı metalin çatlama riski yoktur.
- Düşük sıcaklıkta alüminyum alaşımlarının bağlantısı sağlanır.

Yapıştırma yönteminde bağlantı bölgesinin ihtiyaç duyduğu yüksek sıcaklık ya da elektrik iletimi kullanılmaz. Bu yöntem monolitik alüminyum alaşımlı malzemelerin birleştirilmesinde kullanılırken, fosforik asit ve kromik asit bağlantının dayanıklılığını arttırmak için kullanılır. Bununla birlikte, bu asitler partiküllerle takviyelendirilmiş malzemelerde kullanılmazlar [39].

4. SÜRTÜNME KAYNAĞI

4.1 Giriş

Gelişen malzeme teknolojisine paralel olarak metalik malzemelerin birleştirilmesi son yıllarda oldukça büyük önem kazanmıştır. Metalik malzemelerin geleneksel ergitme kaynak yöntemleriyle birleştirilmesinde çeşitli problem ve sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu problemler sonucunda, katı hal kaynak yöntemleri önemli bir çözüm yolu olmaktadır. Katı hal kaynak yöntemlerinden biri olan sürtünme kaynağı, özellikle yeni ve ileri malzemelerin üretilmesi ve bu malzemelerin mevcut kaynak yöntemleri ile kaynak edilmesinden doğan problemler, sürtünme kaynağı için geniş bir uygulama alanı bulmaktadır.



Şekil 4.1 Sürtünme Kaynağı Resmi [40]

Sürtünme kaynağında sürtünme süresi boyunca sürtünen yüzeyler aksenal basınç altındadır. Isıtma veya sürtünme fazı olarak adlandırılan bu süreç, birleşme bölgesinde plastik deformasyon sıcaklığına ulaşıncaya kadar devam eder. Bu

sıcaklıkta dönme hareketi ani frenleme ile durdurulur ve eksenel basınç yaklaşık iki kat artırılarak yığıma oluşturulur. Normal şartlar altında ara yüzey ergimez. Çünkü meydana gelen sıcaklık, malzemelerin ergime sıcaklığından daha düşüktür. Bu kaynak tekniğinde ilave metal ve koruyucu gaz gerektirmez [41].

Bilindiği gibi sürtünme kaynağı; parçaların ara yüzeylerinde sürtünme yoluyla oluşturulan mekanik enerjinin ısı enerjisine dönüştürülmesiyle elde edilen ısı yardımıyla gerçekleştirilen bir kaynak türüdür. Genel olarak sürtünme kaynağı eksensel simetriye sahip ve daire kesitli parçaların birleştirilmelerinde kullanılmasına rağmen cihazların otomasyonu ve bilgisayarlı kontrol olanaklarının gelişmesiyle birlikte daire dışı kesitli parçaların birleştirilmesinde de kolaylıkla kullanılabilir. Ayrıca, bu kaynak yönteminde malzeme ve enerji tasarrufu sağlamak gibi önemli bir avantaja da sahip olduğu için gittikçe artan oranlarda tercih edilmektedir. Yine bunlara ek olarak sürtünme kaynağıyla aynı veya farklı malzeme türleri, eşit veya farklı kesitli parçaların birleştirilmesi de kolaylıkla gerçekleştirilmektedir. Sürtünme kaynağında parametrelerin belirlenmesi büyük önem kazanmaktadır. Bu kaynak türündeki en önemli parametreler; sürtünme süresi, sürtünme basıncı, yığıma süresi, yığıma basıncı ve devir sayısı olarak sayılabilir. Parçalar kaynak edilirken birleştirilecek parçaların yüzeylerinin de yağ ve oksitten arındırılması kaynak yapılırken olumlu bir işlem olacaktır.

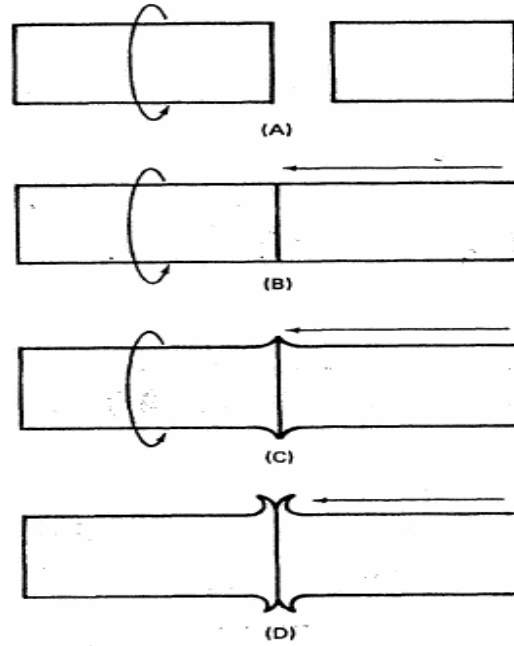
4.2 İşlem Prensipleri

Katı-hal birleştirme tekniklerinden olan sürtünme kaynağında birleştirme ergimeye bağlı olmadan birleştirilecek parçaların ara yüzeylerinde meydana gelir. Sürtünme kaynağı üç aşamada gerçekleşir. Birinci aşamada malzeme ara yüzeyleri düşük yük altında temas haline getirilir ve deformasyon işlemi sürtünme aşınması ile yönlendirilir. İkinci aşamada uygulanan yükler yavaşça artırılır, kaynaklanacak parçaların ara yüzeyleri boyunca önemli ölçüde sürtünme ısı oluşur ve gerilme sertleşmesi ve yumuşaması işlemlerinin bir değerine ulaşılır. Üçüncü aşamada ise sürtünme ısı üretimi sona erer, kaynaklanacak parçaların ara yüzeylerinin her iki

tarafında ısınan malzemeye uygulanan gerilme yavaşça artırılır ve çapaklar alınır (Şekil 4.2).

Yöntemin başlangıcından bitimine kadar ara yüzey basınç altındadır. Kaynak esnasında uygulanan basınç sabit parça, hareketli parça veya dönen her iki parça tarafında sağlanır.

Sürtünme kaynağı işleminde genelde sıcaklık arttığında kesme ve akma mukavemetleri düşer. Sürtünme kaynağında yüzey tabakaları kırılıp atıldığında önemli bir plastik akma olur. Sonuçta sıcaklık bölgesel ergimenin başladığı sıcaklığa ulaşır. Bu olayların hepsi saniyeler içerisinde meydana gelir. Bütün ergitme kaynakları artık gerilmelerin üretilmesine sebep olmaktadır. Bu gerilmeler malzemenin ergime sıcaklığından daha düşük sıcaklıklardaki ısıl çevrimlerden kaynaklanmaktadır.



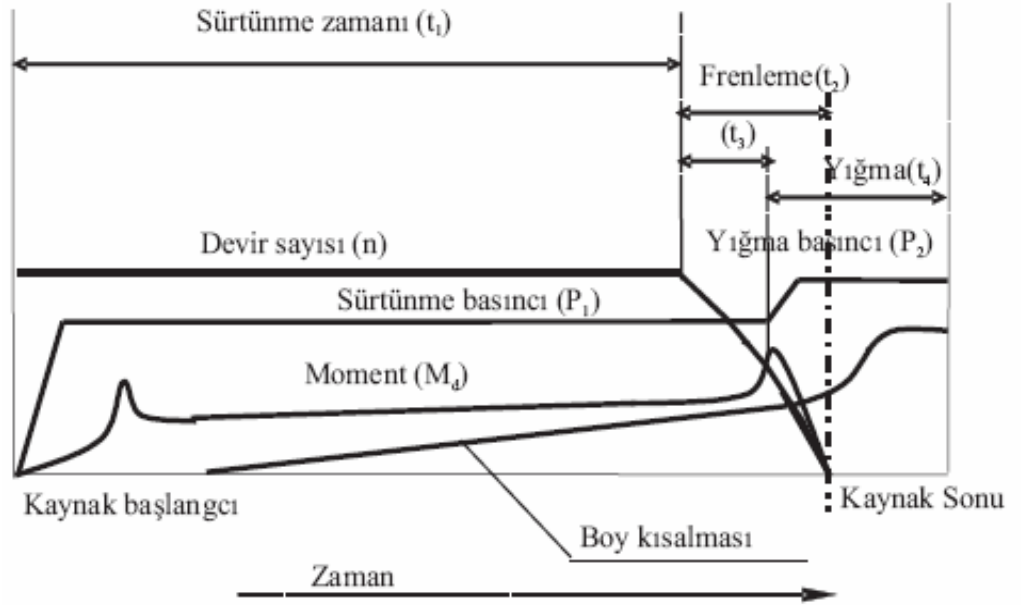
Şekil 4.2 Sürtünme Kaynağında Temel Adımlar [42].

4.3 Sürtünme Kaynak Çeşitleri

Klasik (Sürekli Tahrikli) Sürtünme Kaynağı, Volanlı (Atalet) Sürtünme Kaynağı ve Kombine Kaynak Yöntemi olmak üzere 3'e ayrılır.

4.3.1 Klasik (Sürekli Tahrikli) Sürtünme Kaynağı

Birleştirilecek parçalardan biri eksenini etrafında döndürülmekte diğeri ise aksenal yönden hareketli olarak dönen parçaya belirli bir süre bastırılmaktadır. Sürtünen yüzeylerde yeterli sıcaklığa erişilince dönme işlemi ani olarak durdurulurken basınç arttırılmakta ve yumuşak malzeme bu yüksek basınç altında soğumaya bırakılmaktadır. Açıklamadan da anlaşılacağı gibi basınç iki kademeli olarak uygulanmaktadır. Basıncın birinci kademesine “Isınma veya Sürtünme Basıncı” ve ikinci kademesine de “Yığılma veya Dövme Basıncı” denir. Şekil 4.3’de bu yöntemin parametreleri verilmektedir.



Şekil 4.3 Klasik Sürtünme Kaynak Parametreleri.

4.3.2 Volanlı (Atalet) Sürtünme Kaynağı

Bu yöntemde bir volandaki kinetik enerjiden yararlanılır. Volan, işlemden önce belli bir devir sayısına getirilerek tahrik motoru devreden çıkarılır. Birleştirilecek parçaların birbirine bastırılmasıyla sürtünen yüzeyler ısınır ve kaynak edilir. Volan ise gittikçe artan bir şekilde yavaşlar ve durur. Ancak bundan sonra

basınç (P) ve sıcaklık (T) azalmaya başlar ve moment (M) ile devir sayısı (n) birlikte sifıra erişir. Boy kısalması (l) ise eriştiği değerde kalır. Burada önceki proseste görülen dövme zamanı (t) yoktur. Bu nedenle volanlı sürtünme kaynağı işlemi daha kısa zamanda gerçekleşmektedir. Eşit kanal açısız basma işlemi, 1980'lerin başında Segal ve arkadaşları (1981) tarafından bulunmuş ve son yıllardaki yoğun çalışmaların konusu olmuştur. Bu işlemde malzemenin dış kesit alanı değişmeden büyük plastik deformasyonlar meydana gelmektedir [11].

4.3.3 Kombine Kaynak Yöntemi

Kombine kaynak yöntemi atalet kaynağıyla direk sürtünme kaynağının ortaklaşa kullanıldığı bir metottur. Büyük kapasiteli parçaların birleştirilmesinde kullanılır. Volan sürtünme kaynağında direk sürtünme kaynağına göre avantajları aşağıda verilmiştir. Bunlar:

- Daha dar bir ITAB oluşur
- Daha seri üretim yapılır
- Daha düşük güç gerekir
- Daha basit ekipman gerekir [42].

Sürtünme kaynak mekanizmaları; sürtünme, plastik deformasyon, difüzyon ve yeniden kristalleşmedir. Bu mekanizmalar arasında, kaynak süresinin çok kısa olmasından dolayı difüzyon çok etkin değilse de, küçük taneli yüksek karbonlu çeliklerin sahip oldukları küçük tane yapısı nedeniyle, çok sayıda yüksek difüzyon kanalları bulunmasından dolayı, difüzyonun da etkin olacağını düşündürmektedir [41].

4.4 Sürtünme Kaynağı Parametreleri

Sürtünme kaynağında kontrolü gereken oldukça fazla parametre bulunmaktadır. Konu ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalar, yöntem üzerinde en etkili

parametreler olan ve optimizasyonu gereken parametrelerin çevresel hız, sürtünme basınç kuvveti, sürtünme süresi, yığma basınç kuvveti, yığma süresi olduğunu göstermiştir. Bunların dışında numune geometrisi, malzemenin ısı kapasitesi, malzemenin plastik şekil değiştirme yeteneği ve parça boyundaki kısalma miktarı gibi parametrelerde söz konusudur.

4.4.1 Çevresel Hız

Ellis, kendi yaptığı çalışmalar ve literatüre dayanarak ara yüzey sıcaklığı ve bağlantı kalitesi üzerinde en etkili parametrenin çevresel hız olduğunu öne sürmüştür. Yüksek çevresel hız yüksek ara yüzey sıcaklığı üretirken düşük çevresel hız yetersiz ısıtma sonucu kaynak bağlantısını olumsuz etkiler. Yüksek çevresel hıza bağlı olarak deformasyon hızının değişimi kaynak süresini kısaltır. Çelikler için çevresel hız 1.2-1.8 m/s arasında önerilirken 1.2 m/s altındaki hızlar çok yüksek momentler, dolayısıyla uniform olmayan bir yığma üretir. Bununla birlikte, farklı metal bağlantıları için düşük hızlar, gevrek bir intermetalik fazın oluşumunu sınırlandırabilir. Yüksek hızların kullanılması durumunda ise kaynak bölgesindeki aşırı ısınmayı önlemek için sürtünme basıncı ve sürtünme süresi çok dikkatli kontrol edilmelidir.

4.4.2 Sürtünme Basınç Kuvveti

Sürtünme basınç kuvveti, numune geometrisi ve birleştirilecek malzeme çiftinin plastik şekil değiştirme yeteneğine bağlı olarak değişir. Sürtünme basıncı kuvveti, temas eden ara yüzeylerden oksitleri uzaklaştırabilecek, yüzeylerin atmosfer ile ilişkisini kesebilecek ve ara yüzeyde uniform bir ısıtma sağlayabilecek düzeyde olmalıdır. Sürtünme basıncı, dar bir aralıkta değişmez. Basınç değişkeni, kaynak bölgesindeki sıcaklık derecesi ve eksenel kısalma ile kontrol edilebilir. Sürtünme kaynağı, uygulanan basınç kuvveti ve çevresel hızın fonksiyonu olarak üç basamakta incelenir. Bunlar; sürtünme fazı, durdurma fazı ve yığma fazıdır.

4.4.3 Sürtünme Süresi

Sürtünme süresi, sürtünen yüzeylerdeki olası kalın ve pislikleri temizleyecek ve gerekli plastisite için uniform bir kaynak bölgesi sıcaklığına ulaşmayı sağlayabilecek düzeyde olmalıdır. Buna karşın, aşırı süre ITAB'ın genişlemesine ve aşırı yığılmaya sebep olacaktır.

4.4.4 Yığma Süresi

Yığma süresi, malzeme çifti ara yüzeyinde gerekli plastik deformasyonu oluşturmak ve sürtünme kaynağının oluşum mekanizmalarından biri olan difüzyonu hızlandırmak için yığma basınç kuvvetinin uygulandığı süredir.

4.4.5 Yığma Basınç Kuvveti

Sürtünme periyodu sonrasında özellikle çelikler için bir yığma basıncının uygulanması bağlantı kalitesini artırır. Yığma basıncı malzemenin sıcak akma sınırına bağlıdır ve aşırı kaynak yığılmasına sebep olacak kadar yüksek, elverişsiz şekillendirmeye dolayısıyla yetersiz kaynaklanmaya sebep olacak kadar düşük olmamalıdır. Yığma basınç kuvveti, sürtünme periyodu sonrasında malzeme çifti arasında difüzyon mekanizmasını hızlandırmak amacıyla uygulanır. Yığma basıncı, malzemelerin birleştirilebilmeleri için bu malzemelerin sıcak dövme mukavemetlerinin altında olmamalıdır. Buna karşın yığma basıncı çok yüksek alınırsa aşırı metal deformasyonu oluşur ve bu aşırı yığılma sırasında kaynak bölgesinde metalik olmayan inklüzyonlar arzu edilmeyen enine bir akış göstererek yeniden şekillenirler. Bu farklı iki malzemenin sürtünme kaynağında yığma basıncını hesaplarken, üç önemli faktör ortaya çıkmaktadır. Bunlar;

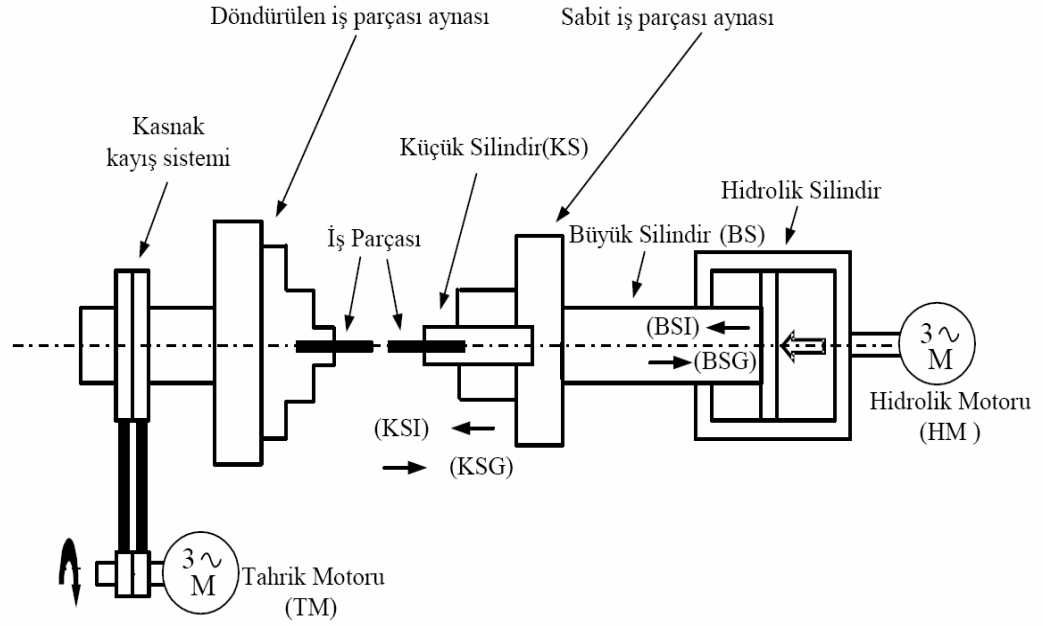
1. Yığma işlemi, plastik şekil değiştirme kurallarına göre meydana gelmektedir.

2. Yığma öncesi sürtünen yüzeyleri etkileyen ısı derinliği, plastik şekil değiştirme oranı ve derecesi ile saptanır. Söz konusu sürtünme etkisiyle meydana gelen ısı derinliği, malzemenin uç formunda yapılacak konstrüktif değişikliklerle direkt olarak şekillendirilebilir veya arzu edilen dereceye getirilebilir.

3. Sürtünme kaynağı için kullanılan yığma basıncı değerleri hesaplamaları diğer yığma ile gerçekleştirilen kaynak metodları içinde kullanılabilir [10].

4.5 Sürtünme Kaynağı Makinesi

Çoğu demir ve demir dışı alaşımlar, alüminyum ve alaşımları, bakır ve alaşımları, çeşitli toz metal parçaları, nikel ve alaşımları, molibden ve niyobyum gibi malzemeler sürtünme kaynağı ile birleştirilebilirler. Sürtünme kaynağı aynı zamanda ısıl ve mekanik özellikleri açısından oldukça farklı malzemelerin birleştirilmelerinde de kullanılabilir. İçerisinde değişik yapılar bulunan malzemeler ve kırılma faz oluşumu mümkün olabilecek malzemelerin birleştirilmeleri de sürtünme kaynağı ile mümkündür. Yöntem otomotiv, kesme ve delme takımları, hidrolik, havacılık ve uzay sanayileri ve ayrıca aşınmış, kopmuş eğrilmiş parçaların tamir ve yeniden kazanılmasında kullanılmaktadır. Sürtünme kaynağında; toz, dolgu malzemesi ve koruyucu atmosfere gerek olmayışı, toplam enerji giderlerinin diğer birleştirme yöntemlerine göre çok küçük oluşu, diğer yöntemlere nazaran daha temiz oluşu, ısı tesiri altında kalan bölgenin çok dar oluşu, ön ve son temizlik gerektirmemesi avantajlarından bazıları olarak sıralanabilir.



Şekil 4.4 Sürtünme Kaynağı Donanımı

Sürtünme kaynak makinesi kontrol sistemi için Microchip'in PIC serisi 16F84 denetleyicisi kullanılmıştır. Yarı iletken teknolojisindeki ve mikro elektronik alanındaki gelişmeler karmaşık kontrol tekniklerinin kolayca uygulanmasını mümkün kılmıştır. Her bir silindir ve motorun çalışması için gerekli olan zamanlama süreleri klasik kumanda sisteminde gerekli olan zaman rölesine ihtiyaç duyulmadan PIC içerisindeki zamanlayıcı kullanılarak (mikro saniye ve mili saniye seviyesinde) çok hassas bir şekilde ayarlanmıştır. Sistemin otomasyonu için gerekli olan PIC programı assembler dilinde hazırlanmıştır. Ayrıca uygulamalarda kullanılan sistem için ekonomiklikte önemlidir. PLC gibi ekonomik olmayan bir modül kullanılmadan devre uygulaması yapılmıştır. Böylece bir sürtünme kaynak makinesinin denetimi için gerekli olan tüm malzeme çok ucuza temin edilmiştir. Sistem zaman rölelerinden arındırılarak muhtemel zamanla hataları azaltılmıştır. Sürtünme kaynak cihazında bulunan elemanlar daha hassas zaman aralığında çalıştırılmış ve PLC ye göre daha ekonomik bir sistem kurulmuştur [43].

4.5.1 Sürtünme Kaynağı Tezgahının Çalışma Prensibi

Değişken parametreler esas alınarak tasarım ve imalatı yapılmış olunan sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesinde çalışma prensibi aşağıdaki sıralamaya göre gerçekleşmektedir.

1. Birleştirilecek numuneler, biri sabit diğeri hareketli aynaya en az eksen kaçıklığında ($< 0.2\text{mm}$) emniyetli bir şekilde bağlanır,
2. Tahrik motorunu kumanda eden invertör çalıştırılır,
3. İntertör üzerindeki devir potansiyometresi yardımıyla tahrik moturu hareketlendirilerek gerekli devir sayısına çıkılır,
4. Eksenel basıncı sağlayan hidrolik devre çalıştırılarak numunelerin yüzey teması sağlanır,
5. Önceden belirlenen sürtünme basınç kuvveti, basınç manometresi üzerinden kontrol edilerek artan değerlerle ulaşılır,
6. Birleşme bölgesinde plastik deformasyon için yeterli olan sıcaklığa ulaşıldığında (sürtünme süresi sonunda), invertör üzerinden tahrik motoruna DC gerilim uygulayarak dönme hareketi 1-3 sn. aralığında durdurulur,
7. Eksenel basınç kuvveti (yığma basınç kuvveti) yaklaşık iki kat artırılıp yığma oluşturularak birleşme işlemi tamamlanır [10].

4.6 Sürtünme Kaynağında Malzeme Çiftlerinin Kaynak Özelliklerine Etkisi

Sürtünme kaynağında bağlantı özelliğini; malzemenin alaşım yapısı, mukavemeti, deformasyon kabiliyeti ve ısı iletkenliği belirler. Kaynak parametreleri,

kaynak birleşme yüzeyinde enerji değişimini ve yeterli deformasyon sağlamak üzere malzemeye uygun olmalıdır. Alaşım ve düşük alaşım çelikler için artan sıcaklık mukavemetinden dolayı yüzeye bağlı kuvvetler uzun sürtünme süresi gerektirir.

Yüksek alaşım çelikler için düşük deformasyon kabiliyetinden dolayı yüzeye bağlı büyük kuvvetler ve uzun sürtünme süreleri('sn' bazında) gerekir. Özellikle hava çeliklerinde, kaynak bölgesinin soğuma hızını mümkün olduğu kadar küçük tutmak amacıyla yeterli genişlikte bir ısının tesiri altında kalan bölge oluşumunu sağlamak gerekir.

Östenitik çelikler yüksek sıcaklık, büyük sürtünme değerleri ve yüksek sıcaklık deformasyon kabiliyeti gösterirler. Yüksek sıcaklıkta mukavemetli olan alaşımlar ise yüzeye bağlı küçük kuvvetler ve yüksek dönme hızları gerektirirler. Metaller arası gevrek fazın oluşumu, amaca uygun malzeme çiftlerinin seçimiyle en aza indirilebilir. Böyle bir malzeme çiftinin kaynağının söz konusu olduğu durumlarda, kaynak parametreleri birleşme bölgesinde meydana gelen metaller arası fazların mümkün olduğu kadar karışımını sağlayacak şekilde seçilmelidir.

4.6.1 Sürtünme Kaynağı Uygulanan Malzemeler

1. Karbonlu çelikler(C): Bu yöntemle rahatlıkla kaynak edilebilirler. Yalnız yüksek C'lu çeliklerde yığılma (basma) özelliği azalmaktadır. Ayrıca bu tür çeliklerde arakesitte oluşabilecek metalürjik değişiklikleri (sertleşme vb.) gidermek için kaynak sonrası ısıl işlem gerekebilir. Sertleşebilir çeliklerin soğuma hızını azaltmak amacıyla daha uzun sürede kaynak edilmelidir.

2. Paslanmaz çelikler: Ferritik ve östenitik paslanmaz çelikler bu yöntemle rahatlıkla kaynak edilebilir. Sertleşme eğilimi gösteren çeliklere kaynaktan sonra ısıl işlem gerekebilir.

3. Al esaslı çelikler: Her iki sürtünme kaynak yöntemi ile rahatlıkla kaynak edilebilir.

4. Reaktif malzemeler: Titanyum, Zirkonyum [44].

Çizelge 4.1 Sürtünme Kaynaklı Malzemeler ve Malzeme Kombinasyonları [28]

Sürtünme Kaynaklı Malzeme Ve Malzeme Kombinasyonları	Tungsten-Bakır Toz Metalurji	Tungsten Toz Metalurji	Titanyum, Titanyum Alaşımları	Çelik (Kesilebilir)	Çelik Toz Metalurji	Dökme Çelik (Östenitik)	Yüksek Alaşımlı Çelik (Östenitik)	Yüksek Alaşımlı Çelik (Ferritik)	Düşük Alaşımlı Çelik	Alaşımsız Çelik	Niobyum	Nikel Alaşımları Toz Metalurji	Nikel, Nikel Alaşımları	Molibden	Magnezyum, Magnezyum	Bakır, Bakır Alaşımları	Sert Metal	Dökme Demir (GGG-GT)	Alüminyum Toz Metalurji	Alüminyum, Alüminyum Alaşımları
Alüminyum, Alüminyum Alaşımları	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆					◆	◆		◆	◆	◆
Alüminyum Toz Metalurji							◆	◆	◆	◆									◆	
Dökme Demir (GGG-GT)						◆	◆	◆	◆	◆								◆		
Sert Metal							◆	◆	◆	◆							◆			
Bakır, Bakır Alaşımları	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆						◆				
Magnezyum, Magnezyum Alaşımları										◆					◆					
Molibden														◆						
Nikel, Nikel Alaşımları			◆				◆	◆	◆	◆		◆	◆							
Nikel Alaşımları Toz Metalurji			◆						◆	◆		◆								
Niobyum			◆				◆	◆			◆									
Alaşımsız Çelik		◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆										
Düşük Alaşımlı Çelik		◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆											
Yüksek Alaşımlı Çelik (Ferritik)				◆	◆	◆	◆	◆												
Yüksek Alaşımlı Çelik (Östenitik)		◆	◆	◆	◆	◆	◆													
Dökme Çelik				◆	◆	◆														
Çelik Toz Metalurji				◆	◆															
Çelik (Kesilebilir)				◆																
Titanyum, Titanyum Alaşımları			◆																	
Tungsten Toz Metalurji	◆	◆																		
Tungsten-Bakır Toz Metalurji	◆																			

4.6.2 Sürtünme Kaynağı Uygulanmayan Malzemeler

Aşağıdaki bazı sınırlamalardan dolayı metal ve alaşımlar bu yöntem ile kaynaklanamazlar.

1. Bütün dökme demirlerdeki serbest grafit sürtünme sıcaklığını azaltır.
2. İçerisinde % 0,3'ün üzerinde Pb bulunan bronz ve pirinçlerde sürtünme sıcaklığı sınırlanır.
3. %0,3'ün üzerinde S ve Pb bulunan otomat çelikleri sürtünme sıcaklığını sınırlar.
4. Yüksek derecede anizotropik malzemeler geçiş bölgesinde kırılma eğilimine yol açar.
5. Yapısında hazır olarak grafit, MnS, serbest Pb gibi zayıflatıcı faz bulunan malzemeler [42].

4.7 Sürtünme Kaynağı Uygulama Alanları

Otomotiv Endüstrisinde

Supaplar, bendiks dişlileri, aks milleri, dişli-mil parçaları, turboşarj pervane milleri, çatal-mil bağlantıları, vb. parçaların imalinde sürtünme kaynağı yöntemi uygulanmaktadır.

Kesme Delme Takım Endüstrisinde

Matkap uçları, delik zımbaları, raybalar, freze bıçakları, vb. elemanların imalinde sürtünme kaynağı yöntemi uygulanmaktadır.

Hidrolik Endüstrisinde

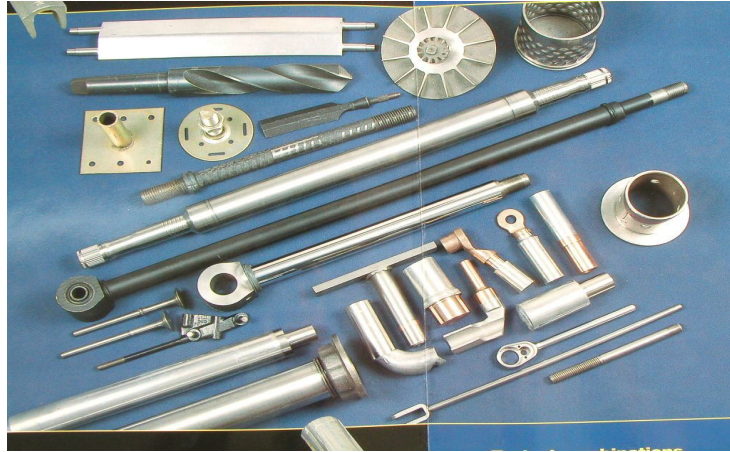
Hidrolik silindirler, radyal pompa pistonları, vb. elemanların imalinde sürtünme kaynağı yöntemi uygulanmaktadır.

Havacılık ve Uzay Endüstrisinde

Yanma odaları, türbinler, borular, bağlantı parçaları, vb. elemanların imalinde sürtünme kaynağı yöntemi uygulanmaktadır.

Onarım Amaçlı

Aşınmış, kopmuş, eğrilmiş parçaların tamamının atılması yerine, onarılarak kullanılacak parçaların sürtünme kaynağı ile tamir edilmesinde uygulanmaktadır [28] (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Sürtünme Kaynağı Uygulama Alanları

4.8 Sürtünme Kaynağının Avantajları

1. Aynı ya da farklı cins malzemeler kolaylıkla kaynatılabilir.
2. Sürtünme kaynak işlemi, diğer kaynak yöntemlerinden en az yirmi kat daha hızlı yapılabilir.
3. Sürtünme kaynak makineleri, farklı şekil ve boyutlardaki malzemeleri kaynak edebilecek şekilde imal edilir.
4. Kaynak öncesi hazırlık zorunlu değildir. Birleştirilecek malzemeler makine, testere ve makas kesilse bile bu yüzeyler ek bir temizleme işlemi görmeksizin kaynak edilebilir.
5. Birleşme yüzeyinde meydana gelen yığılmanın bir sonucu olarak % 100 kaynak olmaktadır.
6. Birleşme bölgesinde bir ergime olmadığından, gaz boşlukları segregasyon, cüruf kalıntıları gibi olumsuzluklar meydana gelmez.
7. Toz metal malzemeler, dökme demirler, hadde mamülleri ve ağır metal çiftleri kaynatılabilir.
8. Kaynak için yardımcı eleman, temizleme maddesi, koruyucu gaz, dolgu maddesi gibi elemanlara gerek yoktur.
9. Sürtünme kaynak makinelerinde işlem kontrolü, insan hatasını ortadan kaldırır ve kaynak kalitesi operatörün beceri ve tavrına bağlı değildir.
10. Sürtünme kaynağı, geleneksel kaynak yöntemlerine göre ekolojik açıdan çok temizdir.

11. Kaynak sıçraması ve kıvılcım yoktur.
12. Geleneksel kaynak yöntemlerinde gerek duyulan enerjinin %20'si kadar daha düşük enerji harcanır.
13. Ek tesis ve güç kaynağına gerek yoktur.
14. Yüksek üretim miktarları için ekipmanlar kolaylıkla otomatik hale getirilebilir.
15. Çoğu malzeme ve geometriler için önceden parametre hesabı yapılabilir.

4.9 Sürtünme Kaynağının Dezavantajları

1. İş parçalarının boyutları sürtünme kaynak makinesinin boyutu ile sınırlıdır.
2. Az sayıda iş parçasının kaynaklanmasında ekonomik değildir ve ilk yatırım maliyeti yüksektir [44].

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Çalışmanın Amacı

Alüminyum matrisli kompozit malzemelerin ergitme kaynak yöntemi ile yapılan birleştirmelerinde bazı problemler mevcuttur. Matris ile takviye arasında kimyasal potansiyel farkının olması bunların termodinamik açıdan dengede olmadığını gösterir. Bu durum istenmeyen fazların içinde bulunduğu kimyasal reaksiyonların meydana gelmesine neden olur. Bu da birleştirilecek malzemenin ve metal matrisli kompozit malzemenin karışımını zorlaştırır, kaynağın kalitesini düşürür. Katılaşmanın kontrolsüz gerçekleşmesi ergitme kaynak yönteminde meydana gelen bir diğer problem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durum takviye elemanlarının ergimiş metal havuzunun katılaşması sırasında katılaşma cephesinin önüne itilmesi sonucu meydana gelir. Böylece kaynak havuzunun katılaşma süreci bozulmuş olur. Tüm bunlar mikro segregasyonlara ve homojen olmayan dağılımlara yol açar.

Ergitme kaynak yönteminde meydana gelen birleştirme problemlerinden dolayı, metal matrisli kompozitleri katı hal birleştirme yöntemleri ile birleştirmenin daha avantajlı olduğunu son araştırmalar ortaya koymuştur. Katı hal birleştirme yöntemlerinden sürtünme kaynağında; ergime sıcaklığının altında çalışılması ve kaynak süresinin kısa olması bu yöntemi diğerlerinden daha cazip hale getirmiştir.

Bu çalışma; SiCp takviyeli A356 esaslı metal matrisli kompozit ile Ç1030 çeliğinin, katı hal birleştirme yöntemi olan sürtünme kaynağı ile optimum birleşme şartlarını belirlemek amacıyla yapılmıştır.

5.2 DeneYlerde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Deneysel çalışmalarda kullanılan Ç1030 Özer Demir Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş'den hazır olarak temin edilmiştir.

MMK üretimi için matris malzemesi olarak A356 (%7 Silisyum içeren döküm alaşımı) alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Alaşım Hayes Lemmerz İnci Jant Sanayi A.Ş tarafından temin edilmiştir.

MMK üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılan yeşil SiCp takviye partikülleri ortalama 44 µm'dur. SiCp tozları İstanbul'da Akyoltaş Ltd. Şti. tarafından temin edilmiştir. Bulunan yeşil ve siyah takviye partiküllerinden siyah partiküllerin biraz daha gevrek olması nedeniyle yeşil renkli SiCp tercih edilmiştir.

DeneYlerde kullanılan malzemelerden Çizelge 5.1'de Ç1030'un, Çizelge 5.2'de A356'nın ve Çizelge 5.3'de SiCp tozunun kimyasal bileşimi görülmektedir.

Çizelge 5.1 Ç1030 Malzemesine Ait Kimyasal Bileşim

C	Ni	Cr	Si	Mn	P	Cu	Mo	Nb	Fe	Diğerleri
0,297	0,100	0,082	0,143	0,636	0,011	0,167	0,011	<0,002	98,511	-

Çizelge 5.2 A356 Malzemesine Ait Kimyasal Bileşim

Al	Fe	Si	Ti	Mn	Zn	Cu	Mg	Ni	Cr	Diğerleri
92,28	0,12	7	0,2	0,03	0,02	0,02	0,28	0	0	-

Çizelge 5.3 SiCp Tozun Kimyasal Bileşim

SiC	Si	Bağımsız C	Diğer
92	8	0,3	0,7

Kaynak işlemlerinde kullanılacak olan numunelerin literatürde verilen mekanik özelliklerinin ve kimyasal bileşiminin bilinmesine rağmen numunelerin mevcut durumunu belirlemek için çekme ve sertlik testleri yapılarak mikro yapıları incelenmiştir.

Deneyleerde kullanılacak olan numunelerin mekanik özellikleri Çizelge 5.4'de görölmektedir. Bu mekanik özellikler, daha sonraki deneyleerde elde edilecek sonuçların kıyaslanmasına yardımcı olacaktır.

Çizelge 5.4 Ç1030 ve MMK Malzemelerinin Mekanik Özellikleri

MALZEME ADI	Akma Muk (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Kopma Uzaması (%)	Sertlikler (HV50)
Ç1030	477,68	725,46	5,20	232,3
%6 AlSiCp	103,76	149,57	0,025	64,5

Çekme deneyleerinin ardından Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de sırasıyla MMK ve Ç1030 malzemelerinin kopma resimleri görölmektedir.



Şekil 5.1 Al/%6 SiCp MMK Kopma Resmi

Al/%6 SiCp nin çekme deneylee sonucu malzemenin boyun vermeden gevrek kopma gerçekleştiği görölmektedir.



Şekil 5.2 Ç1030 Kopma Resmi

Ç1030 malzemesinin çekme deneyinde sünek bir davranış gösterdiği, kopmadan önce boyun vererek belirgin bir akma gösterdiği görülmüştür.

5.3 Numune Malzemelerinin Kullanıldığı Yerler

5.3.1 Ç1030 Çeliğinin Kullanıldığı Yerler

Ç1030 malzemesi; Mn, Si gibi alaşım elementlerinin bir veya ikisinin çeliğin içindeki değerleri, -enaz- Mn %1,65, Si %0,60 geçmiyor ve kimyasal bileşiminde başka herhangi bir alaşım elementinin belirli bir miktarda en az bulunması istenmiyorsa bu çelikler, karbonlu çelikler sınıfına girer. Kullanım alanları olarak makineler, dingiller, gemi şaftları, civata yapımı örnek gösterilebilir [45].

5.3.2 Al/%6 SiCp MMK Malzemesinin Kullanıldığı Yerler

Al/%6 SiCp metal matrisli kompozit malzemesi; tek bileşenli malzemelerde ulaşılamayan yüksek elastisite modülü, yüksek mukavemet ve yüksek aşınma direnci gibi özellikleri sağlaması nedeniyle özellikle otomotiv endüstrisi ile uzay ve havacılık sektöründe geniş kullanım alanına sahiptir (Çizelge 5.5).

Çizelge 5.5 Al/%6 SiCp Kompozitlerin Kullanıldığı Yerler [22]

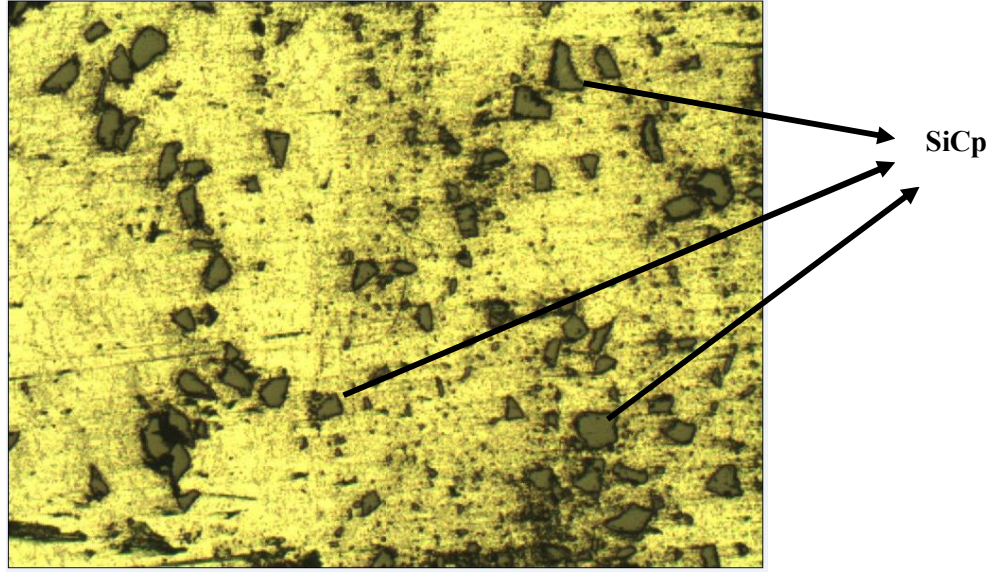
Bileşen	Malzeme	Avantaj
Fren Pedalı	Al – SiCp	Hafiflik ve Uzun Ömür
Segman	Al – SiCp	Yüksek Aşınma Dayanımı
Pistonlar	Al – SiCp	Yüksek Aşınma Dayanımı
Kasnaklar	Al – SiCp	Yüksek Aşınma Dayanımı ve Hafiflik
Selektör Çatalları	Al – SiCp	Yüksek Aşınma Dayanımı ve Hafiflik

5.4 DeneYlerde Kullanılan MMK'in Üretimi

Kompozit malzemeler vorteks yöntemi ile Celal Bayar Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında üretilmiştir. A356 alaşımı 5 kW'lık 25 kHz frekanslı Ceia marka indüksiyon cihazında ergitilerek, içine %6 SiC partikülleri ilave edilmiştir. İlave işleminin ardından mekanik olarak ve daha sonra indüksiyon akımının oluşturduğu girdap ile karıştırılarak atmosfer basıncında çelik kalıp içerisine dökülmüştür.

Al/SiC kompozitinde, döküm sırasında matris ve takviye arasında bazı reaksiyonlar oluşur. Bu reaksiyonlar sonucunda oluşan tabaka şeklindeki Al_4C_3 bileşiği kaynağı çok gevrek hale getirir. Çok güçlü ısı girdisi Al_4C_3 bileşiğini daha da belirginleştirir. Bileşik 700-1400°C arasında oluşmaktadır [46]. Bu bileşiğin kompozit malzemeyi gevrekletirmesini önlemek için çok yüksek ısı girdisine ihtiyaç duymayan döküm yöntemi olan ve sıvı-katı aralığında döküm işlemi gerçekleştirilen vorteks yöntemi kullanılmış, döküm 700°C'de gerçekleştirilmiştir.

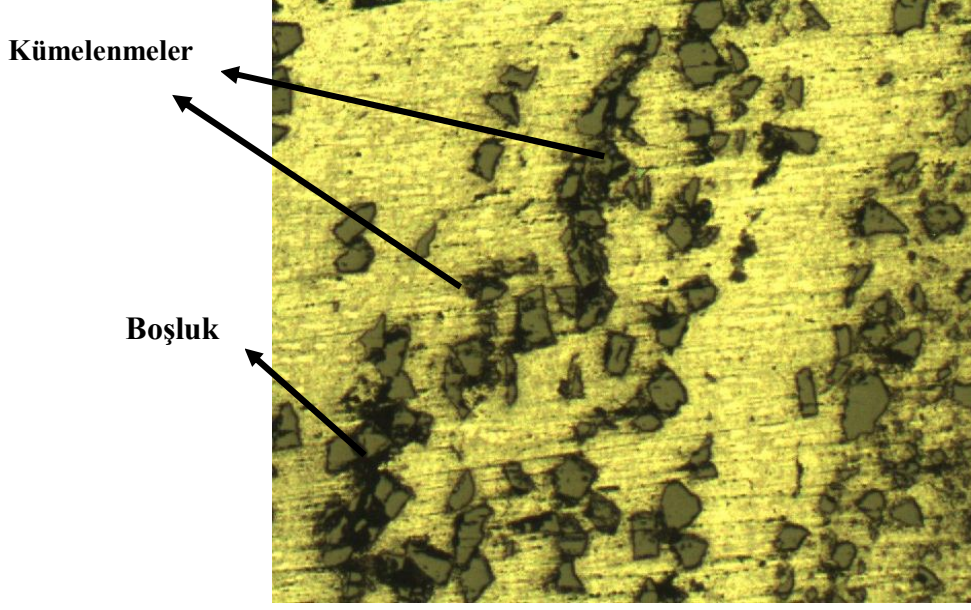
Çalışmamızda, partikül olarak % 6 SiC oranının kullanılmasına literatür araştırmaları sonucunda karar verilmiştir. Partikül oranının %10 SiC veya %15 SiC gibi yüksek oranlarda kullanıldığı kaynaklarda sertlik değerinin yükseldiği, çekme dayanımını düşüğü, aşınma dayanımının azaldığı, korozyon direncinin azaldığı ve kaynak bölgesi genişliğinin gereğinden çok daha fazla daraldığı görülmüştür. Bunların sebebi olarak birim alan başına düşen SiC'un kaynak bölgesinde birikmesiyle malzemelerin birbirine difüzyonunun engellenmiş olduğu düşünülmektedir. Ayrıca partikül oranı arttıkça kompozit malzemelerde heterojenlik artmış, SiC'nin homojen dağılımı sağlanamamıştır [18]. Açıklanan bu sebeplerden dolayı partikül oranı olarak %6 SiC gibi ortalama bir değer kullanılması uygun görülmüştür. Şekil 5.3'de SiC partiküllerinin A356 matrisine homojene yakın dağılımı görülmektedir.



Şekil 5.3 Al/6SiCp Malzemesinin Optik Mikroskop Görüntüsü (100x)

Şekil 5.4’de dökümden kaynaklanan bazı hatalar görülmektedir. Bu hatalar SiC partikülünün kümelenmesi veya yapıda meydana gelen döküm boşlukları şeklinde görülebilir. SiC partikülünün kümelenmesini önlemek için matris-takviye ikilisinin mekanik karıştırma işleminin iyi yapılması, yapıda döküm boşlukların meydana gelmesini önlemek için ise SiCp matris ile ıslatabilme özelliğinin kazandırılması sağlanmaya çalışılmıştır. A356 malzemesinde SiC partiküllerinin yer yer heterojen dağılımı ve döküm boşlukları gözlemlense de genel olarak homojene yakın bir dağılım sağlanmıştır.

Yapıda meydana gelen bu hataların kaynak bölgesinin çekme dayanımı düşürerek kaynak kalitesini olumsuz etkileyeceği kaçınılmazdır.



Şekil 5.4 MMK Hatalı Döküm Optik Mikroskop Görüntüsü (100x)

5.5 Sürtünme Kaynak Cihazı ve Teknik Özellikleri

Çalışmada, Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi bünyesinde bulunan sürekli tahrikli sürtünme kaynağı cihazı kullanılmıştır.

Çalışılan bu tezgahta bilgisayar kontrolü, 'Delphi 6' adlı programlama dili ile yapılmış bir bilgisayar programı ve bu komutları kusursuzca sisteme aktarabilecek kontrol ünitesi bulunmaktadır. Bilgisayar programı ile sürtünme kaynak makinesinin; ana tahrik motoru, kavrama sistemi, fren sistemi ve hidrolik devrenin pompa motoru, sürtünme basıncı devresi, yığma basıncı devresi, geri dönüş devresi kontrol edilmektedir. Şekil 5.5'de sürtünme kaynak cihazı görülmektedir.



Şekil 5.5 Bilgisayar Kontrollü Sürtünme Kaynak Cihazı

Çalışmalarda kullanılan sürekli tahrikli sürtünme kaynak cihazının teknik özellikleri şunlardır:

Tezgah Genişliği	: 600 mm
Tezgah Boyu	: 1550 mm
Tezgah Yüksekliği	: 1170 mm
Elektrik Motor Devri	: 1440 d/dk
Elektrik Motor Gücü	: 7.5 kW
Hidrolik Pompa Motor devri	: 1420 d/dk
Hidrolik Pompa Gücü	: 1.5 kW
Hidrolik Pompanın Tipi	: Dişli
Numune Devri	: 3000 d/dk

Sisteme bağlı olan bilgisayar programı iki pencereden oluşmaktadır. Bu pencereden birincisi, sistemin kumandasına etki etmemekte olup, tamamen bilgilendirme ve sonrası için saklanabilecek motor devri, parçanın devri, sürtünme süresi, kullanılan malzeme isimleri, sürtünme basıncı ve yığma basıncı değerlerinin girilebileceği kısımlardan oluşmaktadır.

Programın ikinci penceresi ise sistemin kumandasına doğrudan etki etmektedir. Burada bilgisayar çıkışı için gerekli port ayarlaması yapılmakta, sürtünme süresi ve yığma süresi değerleri girilmektedir. Böylece program

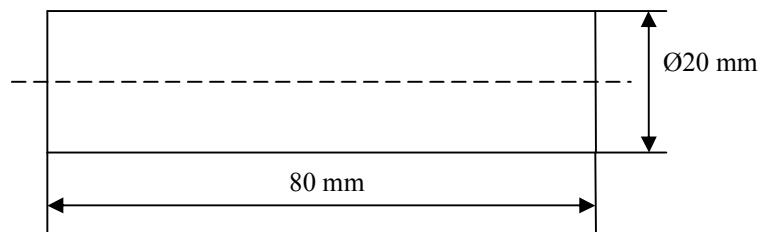
başlatılmaya hazır hale gelir. Sürtünme kaynağı başladıktan sonra pasif olarak görülen ana tahrik motoru, hidrolik pompa, sürtünme basıncı, kavrama, fren, yığıma ve geri dönüş devresinin başlama, durma ve toplam proses süreleri aktif hale gelir ve kayıt altına alınır [47]. Şekil 5.6’da bilgisayar ekranı görülmektedir.



Şekil 5.6 Bilgisayar Programı Ekran Penceresi

5.6 Numunelerinin Hazırlanması

Ç1030 ve Al/6 SiCp silindirik numuneler Balıkesir Üniversitesi Takım Tezgahları Atölyesindeki universal tornada hassas olarak işlenerek numuneler Ø20x80 mm ölçüsüne getirilmiştir. Numune boyutları kaynak yapılan iki farklı parça için aynı seçilmiştir. Şekil 5.7’de numune ölçüleri görülmektedir.



Şekil 5.7 Sürtünme Kaynağı İçin Hazırlanan Numune Boyutları

Torna tezgahındaki alın tornalama esnasında devir sayısı düşük seçilerek malzemede yüksek ısı oluşumundan dolayı değişebilecek kimyasal yapının önüne geçilmiştir. Bağlantı ara yüzeyinde yüksek mukavemetlere ulaşılması için sürtünme alın yüzeyleri çok iyi hazırlanmış ve yüzeylerin birbirine paralel olmasına özellikle dikkat edilmiştir.

Bu amaçla tornalama işleminin ardından hassas tornalama işlemi yapılmıştır. Hassas tornalama sonucunda, sürtünme kaynağında olması istenen en önemli durumlardan olan parçaların yatayda aynı ekseninde çakışması ve alınlarının tamamının temasta olması hali sağlanmıştır

Numunelerin torna tezgahındaki işlemlerinin ardından ise birleştirilecek alın yüzeyleri zımpara ile sırasıyla kabadan inceye doğru 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 numaralı zımparalardan geçirilmiştir. Bu şekilde kaynağın kalitesini olumsuz etkileyecek oksit, yağ ve istenmeyen parçalar ortamdaki uzaklaştırılmıştır.

5.7 Sürtünme Kaynağı Parametreleri

Bu çalışmada sürtünme kayağı yöntemi ile Ç1030 ve %6 AlSiCp MMK malzemesinin birleşebilirliği ve yapılan kaynağın kalitesi araştırılmıştır.

Deneyleerde; sürtünme basıncı olarak 10 MPa ve 20 MPa, yığma basıncı olarak 20 MPa ve 30 MPa ve sürtünme süresi olarak 4 sn, 6 sn, 8 sn, 10 sn ve 12 sn alınırken yığma süresi olarak 4 sn sabit alınmıştır. Bunların dışında numunelere sırasıyla $P_1=20$ MPa, $P_2=20$ MPa, $t_1=12$ sn, $t_2=4$ sn; $P_1=10$ MPa, $P_2=30$ MPa, $t_1=8$ sn, $t_2=4$ sn; $P_1=10$ MPa, $P_2=30$ MPa, $t_1=2$ sn, $t_2=4$ sn parametrelerinde pilot çalışmalar uygulanmıştır. Kaynakların gözle muayenesinden memnun kalınmadığı için deney parametreleri kısmında bu değerlere yer verilmemiş, mekanik testlere tabii tutulmamıştır. Çalışmamız için ön çalışma ve literatür araştırmaları sonucu uygun olabileceği düşünülen 8 farklı kaynak parametresi uygulanmıştır (Çizelge 5.6).

Çizelge 5.6 Deney Numuneleri ve Kaynak Parametreleri

DENEY NO	DEVİR SAYISI (n) (dev/dak)	SÜRTÜNME BASINCI (P_1) (MPa)	SÜRTÜNME SÜRESİ (t_1) (sn)	YIĞMA BASINCI (P_2) (MPa)	YIĞMA SÜRESİ (t_2) (sn)
DENEY 1	3000	20	4	20	4
DENEY 2	3000	20	6	20	4
DENEY 3	3000	20	10	20	4
DENEY 4	3000	10	6	20	4
DENEY 5	3000	10	12	20	4
DENEY 6	3000	10	4	30	4
DENEY 7	3000	10	6	30	4
DENEY 8	3000	10	8	30	4

Sürtünme kaynağı deneyleri sırasında, cihazın motoruna bağlı dönel aynaya Ç1030, hidrolik mekanizmaya bağlı olan sabit pense ise MMK bağlanmıştır..

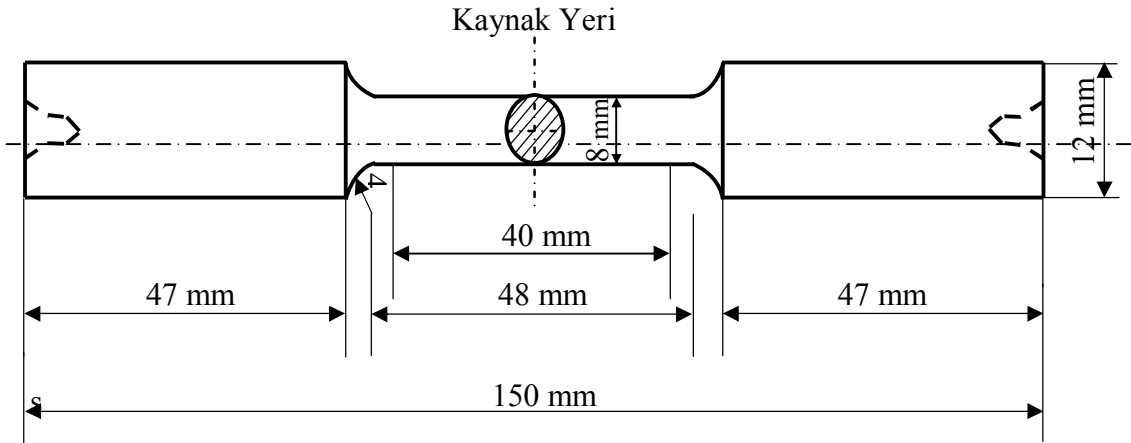
Yapılan sürtünme kaynağı deneyleri sonucunda, farklı parametrelerle kaynağı yapılan her numunenin temas yüzeyinden dışa doğru taşan flanşın farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Sürtünme basıncı, yığma basıncının ve sürtünme süresinin artmasıyla oluşan çapağın arttığı görülmüş, bu artışta en büyük etkiyi sürtünme basıncının üstlendiği anlaşılmıştır.

Deneylerde farklı malzemelerin kullanılmasından dolayı farklı deformasyonlar gözlenmiştir. Bunun, malzemelerin ısı iletkenliklerinin ve dayanım değerlerinin farklı olmasına bağlı olduğu; alüminyumun ısı iletkenliğinin Ç1030 malzemesinden yüksek ve dayanım değerinin düşük olmasından dolayı, MMK malzeme tarafındaki flanşın gözle görülebilir derecede büyük, Ç1030 malzeme tarafında ise gözle görülemeyecek derecede küçük olduğu görülmüştür.

Sürtünme kaynağı deneylerinde elde edilen numunelere; çekme deneyi, sertlik ölçme deneyleri, makro ve mikro yapı, SEM incelemeleri ve EDS analizleri yapılmıştır.

5.8 Çekme Deneyi Uygulamaları

Numunelerin sürtünme kaynağının ardından, her bir parametre grubu için ikişer adet numuneye çekme testi uygulamak için TS 287 EN 895 standartına uygun olarak şekil 5.8'de görülen ölçülere getirilmiştir. İşlem esnasında, kaynak bölgesinin zarar görmesini önlemek için tezgaha düşük ilerleme hızı verilmiştir. Kaynaklı parçalar, tornada işlendikten sonra herhangi bir çentik etkisine izin vermemek için zımparalardan geçirilmiştir.



Şekil 5.8 TS 287 EN 895 Çekme Numune Boyutları

Çekme testleri Balıkesir Ordu Donatım ve Eğitim Merkezi Laboratuvarında Alşa Marka 10 t Kapasiteli Çekme Cihazında yapılmıştır. Çekme deneyleri yapılırken, cihaz için ilerleme hızı 4 mm/dak olarak ayarlanmıştır. Şekil 5.9'da cihaz resmi görülmektedir.

Çekme cihazına ait program bilgisayar ile kumanda edilebilmektedir. Bu programda ortalama hız, akma mukavemeti, çekme mukavemeti, % uzama gibi veriler hesaplanmaktadır.



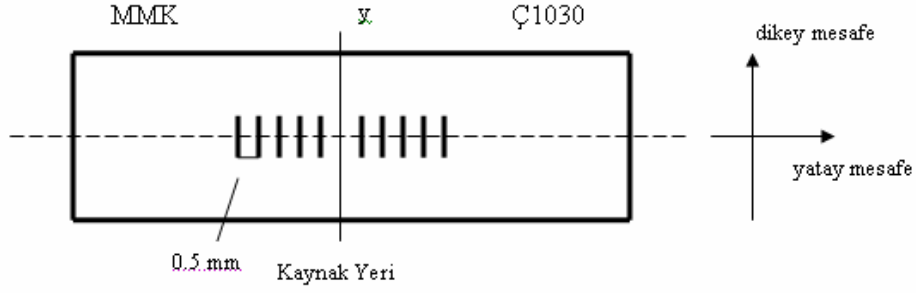
Şekil 5.9 Çekme Cihazı Resmi [48]

5.9 Sertlik Deneyi Uygulamaları

Kaynaklı numuneler Balıkesir Ordu Donatım ve Eğitim Merkezi Laboratuvarında Metkon MH-3 marka mikrosertlik ölçme cihazında deneylere tabii tutulmuştur. Çalışmamızda Vicker ucu ile 50 gr yük kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklı numuneler, sertlik ölçümleri için kaynak bölgesinden birleşme ara yüzeyine dik olarak kesilmiştir. Bu kesme işlemi sırasında kaynak bölgesinin yüksek ısıya maruz kalmaması için tezgah, düşük devirlerde bol miktarda soğutma sıvısıyla çalıştırılmıştır.

Zımparalama ve parlatma işleminin ardından mikrosertlik için, merkezin 5 mm yukarısında yatay doğrultuda ölçüm yapılmıştır. Sertlik değerleri alınırken vickers ucun iz bıraktığı her nokta arası 0,5 mm olarak ayarlanmış, ancak kaynak bölgesine yaklaşıldıkça daha sık aralıklarda mikrosertlik değerleri alınmıştır. Mikrosertlik değerlerinin alındığı doğrultu Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10 Mikrosertlik Ölçümünün Yapıldığı Doğrultu

5.10 Makro ve Mikro Yapı İncelemeleri

Sürtünme kaynağı ile birleştirilen numuneler Şekil 5.11’de görülmektedir.



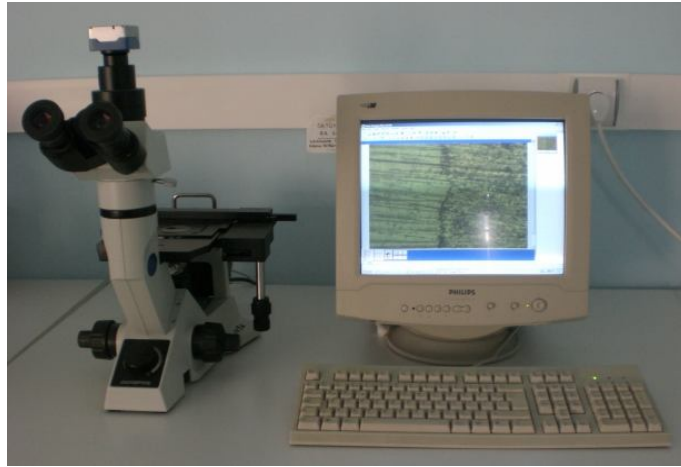
Şekil 5.11 Ç1030-MMK Kaynak Sonrası Resmi

Kaynaklı numuneler mikroskopta incelenecek şekilde kaynak bölgesinden birleşme ara yüzeyine dik kesilmiştir. Daha sonra numuneler Balıkesir Üniversitesi Metalografi Laboratuvarı’nda Metkon üretimi ‘Gripo 2V’ marka çift taraflı zımpara cihazında su yardımıyla sırasıyla kabadan inceye 180-200-320-400-600-800-1000-1200 numaralı zımparalardan geçirilerek zımparalama işlemi yapılmış, yüzeylerdeki pürüzler ve çizgiler ortadan kaldırılmıştır.

Zımparalama işleminin ardından 0,5 μm ve 1 μm elmas pasta ile 0.05 μm partikül çapına sahip alümina (Al_2O_3) solüsyonu ve lübrikant kullanılarak parlatma işlemi yapılmıştır. Parlatma işleminden sonra numune yüzeyler metil alkol ile temizlenmiştir.

Parlatma işleminden sonra Ç1030 ve MMK tarafı farklı çözeltiler kullanılarak dağlanmıştır. Ç1030 tarafı %4 nitrik asit (HNO_3) katılmış metil alkol ile 4 sn süreyle, %6 AlSiCp tarafı Keller dağlayıcısı (2,5 ml HNO_3 , 1,5 ml HCl, 1 ml HF ve 95 ml saf su) ile 2 dakika süreyle dağlanmıştır. Alkol ile temizlenip kurutulan numuneler optik mikroskop ve SEM incelemeleri için hazır hale getirilmiştir.

Optik incelemeler, Balıkesir Üniversitesi Metalografi Laboratuvarı'nda Olympus (Gx41) marka cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Optik mikroskopta incelenen yapılar hem mikroskoptan, hem de kendine ait bilgisayar programı sayesinde bilgisayar ekranından takip edilebilmiştir. Bu incelemeler 50x, 100x, 200x ve 500x olmak üzere çeşitli büyütme oranlarında yapılmıştır. Bu şekilde kaynaklı numunelerdeki kaynak bölgesi ve çevresinin mikro yapısal değişimleri belirlenmiştir. Şekil 5.12'de optik mikroskop görülmektedir.



Şekil 5.12 Bilgisayar Destekli Optik Mikroskop Cihazı

SEM görüntüleri için Sakarya Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Bölümü Laboratuvarı'nda JEOL JSM marka cihazı kullanılmıştır. Elektron mikroskobundan alınan görüntülerden uygun görülenleri 'IXRF systems Inc. 500 Processing' marka EDS cihazına aktararak doğrusal ve noktasal EDS analizleri alınmıştır. Bu şekilde malzemelerin sürtünme parametrelerine göre değişen kimyasal bileşimleri araştırılmıştır. Şekil 5.13'de kullanılan taramalı elektron mikroskop görülmektedir.



Şekil 5.13 Taramalı Elektron Mikroskop Cihazı

6. DENEY SONUÇLARI

6.1 Çekme Deneyi Sonuçları

Numune parçaların kaynak işleminden önceki toplam uzunluğu L_1 olup, kaynak işlemi sırasında kaynak bölgesinde meydana gelen deformasyon sonucunda boyda bir kısalma meydana gelmiş ve toplam uzunluğu L_2 olmuştur. Çizelge 6.1’de işlem öncesi ve sonrası numune boyları görülmektedir.

Çizelge 6.1 Kaynak Öncesi ve Sonrası Numune Boyları

DENEY NO	Kaynak öncesi ölçülen boy L_1 (mm)	Kaynak sonrası ölçülen boy L_2 (mm)	Deformasyon Miktarı ΔL (mm)
DENEY 1	159,60	156,85	2,75
DENEY 2	160,15	157,10	3,05
DENEY 3	159,3	155,8	3,5
DENEY 4	159,6	159,5	0,1
DENEY 5	160,05	156,75	3,3
DENEY 6	158,0	157,8	0,2
DENEY 7	160,5	159,6	0,9
DENEY 8	160,4	158,8	1,6

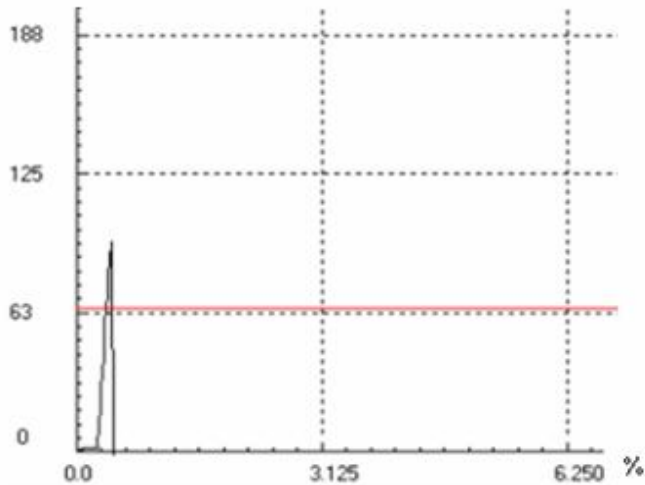
Sürtünme kaynak işleminin ardından numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme deneyi için kaynaklı numuneler TS 287 EN 895’e göre hazırlanmıştır. Çekme deneyleri sonucunda elde edilen veriler Çizelge 6.2’de görülmektedir.

Çizelge 6.2 Çekme Deneyi Sonuçları

DENEY NO	AKMA MUKAVEMETİ (MPa)	ÇEKME MUKAVEMETİ (MPa)	% UZAMA
DENEY 1	64,26	94,59	0,46
DENEY 2	70,02	96,20	0,46
DENEY 3	78,25	99,05	0,49
DENEY 4	53,99	53,99	0,02
DENEY 5	78,10	98,86	0,44
DENEY 6	42,10	55,64	0,06
DENEY 7	57,57	72,88	0,23
DENEY 8	65,29	82,65	0,19

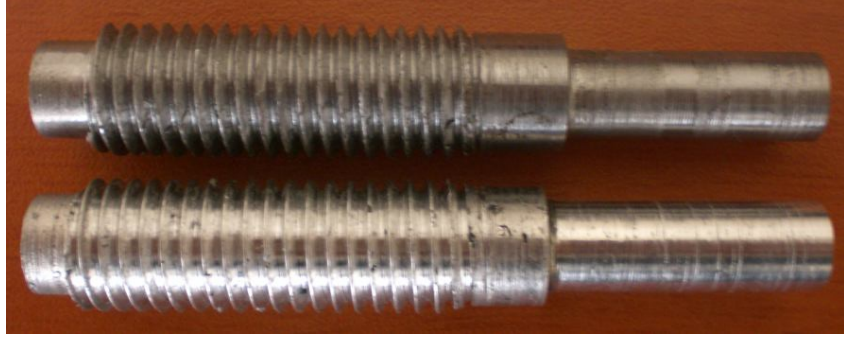
Çekme numunelerinin kuvvete bağlı akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve uzama miktarları grafik olarak elde edilmiştir. Optimum kaynak parametrelerini belirlemek için, kaynaklı numunelerin çekme deneyleri sonucunda elde edilen çekme değerleri önemlidir. Deney numunelerinden birinin çekme grafiği Şekil 6.1’de verilmiştir.

N/mm² Gerilim x Gerinim Grafiği (Stress vs. Strain)



Şekil 6.1 Çekme Numunesinin Çekme Grafiği

Kaynak sonrası çekme deneyine tabi tutulan numuneye ait çekme deneyi sonrasındaki resmi şekil 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2 Çekme Deney Numunesinin Kopma Resmi

Numunelerin kopma yerleri incelendiğinde tüm malzemelerin MMK malzeme tarafında kaynağa yakın bölgeden koptuğu ya da nadiren de kaynak bölgesinden olduğu görülmüştür. Kopma yerlerinin MMK bölgesinde meydana gelmesinin sebebi olarak SiCp ve A356 malzemesi arasında meydana gelmesi gereken ıslatılabilme özelliğinin azlığı başka deyişle malzemelerin matris ile takviye arasında ıslatılabilme özelliğinin iyi sağlanamamış olması olarak düşünülmektedir. Kaynak bölgesinde kopmanın meydana gelmesinin sebebi olarak ise, MMK ve Ç1030 malzemesinin mekanik kilitlenmesiyle malzemeler arası difüzyon sonucu meydana gelen intermetalik Fe_2Al_5 ve $FeAl_3$ [50] gibi fazların varlığı veya SiCp'ün malzemelerin birbirine difüze olmasını engellemesidir. Al ve Fe malzemelerinin katı halde birbirini çözündürmemesi bir diğer problem olup, intermetalik oluşumunu ayrıca teşvik etmektedir [50].

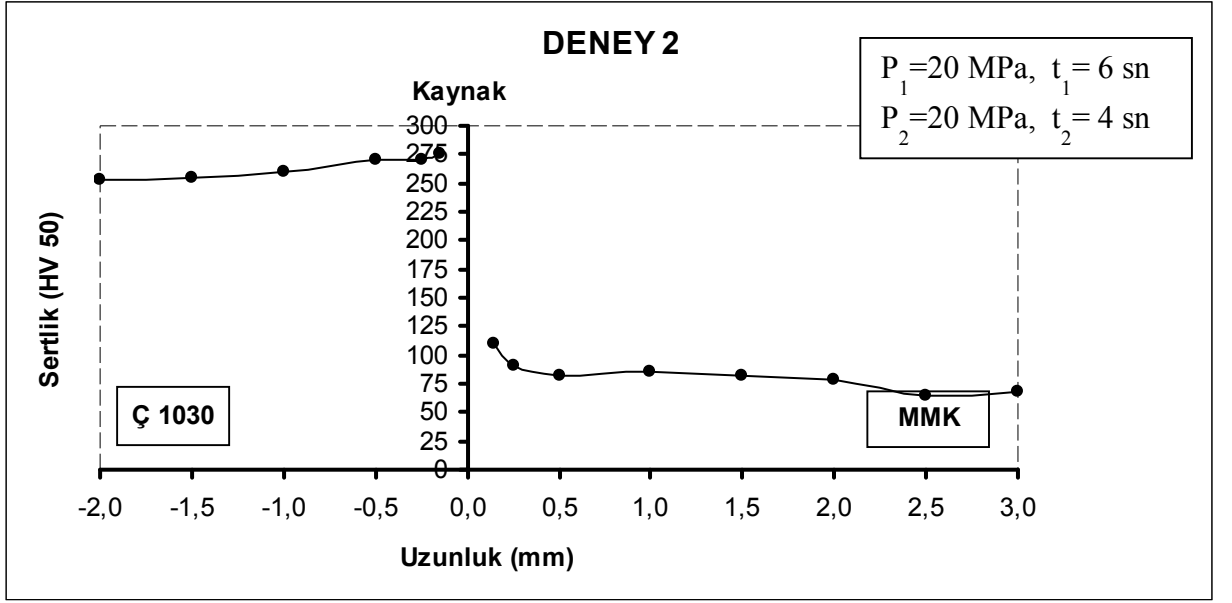
Çekme deneyleri sonucunda yapılan incelemelere göre, deney 3'e ait numunenin çekme mukavemeti (99,05 MPa), Ç1030'un çekme mukavemetinden daha düşük olan MMK'in çekme mukavemetine (149,57 MPa) göre % 33,7, deney 4'e ait numunenin çekme mukavemeti (53,99 MPa), MMK'in çekme mukavemetinden % 63,9 daha düşüktür. Genel olarak sürtünme kaynaklı malzemelerin çekme dayanımlarının, kullanılan malzemelerden çekme dayanımı en düşük olan malzemeye yakın olması gerekir. Ancak kaynak yerinin çekme dayanımı, çekme dayanımı en düşük olan MMK malzemesinden düşük çıkmıştır. Bu durum, takviye ile matris arasındaki ara yüzey bağ mukavemetinin kuvvetli olmamasıyla SiCp'ün kaynak bölgesinde boşluk olarak görev yaparak kaynak dayanımını düşürmesi olarak açıklanabilir.

Çok uzun sürtünme sürelerinde gevrek intermetalik bileşen içeren difüzyon bölgesi oluşmaktadır. Çok kısa sürtünme süreleri ile düşük sürtünme ve yığma basınçlarında ise bağlantı gerçekleşmemektedir. Yüksek mukavemet eldesi için kaynak parametrelerinden sürtünme süresi olabildiğince düşük, sürtünme ve yığma basınçları ise olabildiğince yüksek seçilmelidir. Kısa sürtünme sürelerinde çok küçük bir difüzyon bölgesi oluşur ve bu bölge yığma basıncının uygulandığı süreçte bağlantı ara yüzeyinden basınç etkisi ile uzaklaştırılır [50].

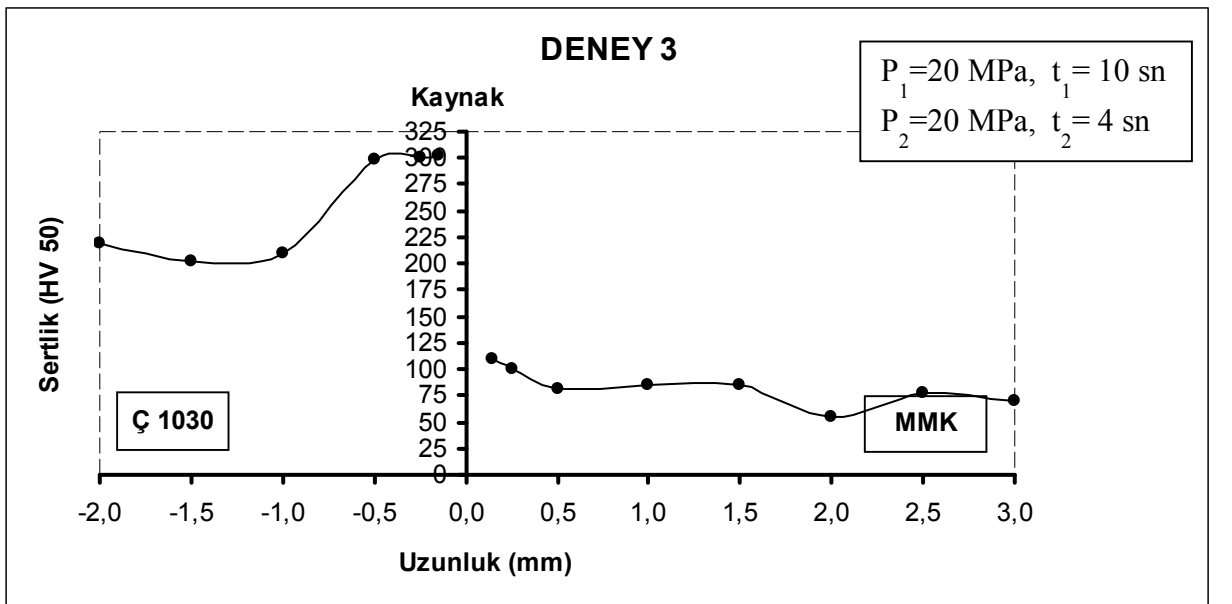
En yüksek çekme dayanımı $P_1=20$ MPa, $P_2=20$ MPa, $t_1=10$ sn, $t_2=4$ sn parametrelili 3 numaralı deney numunesinden elde edilmiştir. Yapılan pilot çalışmalarda sürtünme süresi olarak 12 sn gibi değerde çekme dayanımının düştüğü görülmüştür. Sürtünme süresinin artmasıyla kaynak dayanımının düşmeye başlamasıyla daha yüksek sürtünme sürelerinin denenmemesine karar verilmiştir. En düşük çekme dayanımı ise $P_1=10$ MPa, $P_2=20$ MPa, $t_1=6$ sn, $t_2=4$ sn parametrelili 4 numaralı deney numunesinden elde edilmiştir. Sürtünme basıncı ve sürtünme süresinin düşük değerlerde seçilmesi kaynak dayanımını önemli ölçüde düşürmüştür. Deneylede genellikle yüksek sürtünme basıncı, yüksek yığma basıncı ve malzemelerin birbirine difüzyonunu sağlayacak ancak yüksek deformasyona neden olmayacak yeterli sürtünme sürelerinde maksimum çekme dayanımı elde edilmiştir. Sonuçların daha önce yapılmış literatür çalışmalarına [50] uygunluğu görülmüştür.

6.2 Sertlik Deneyi Sonuçları

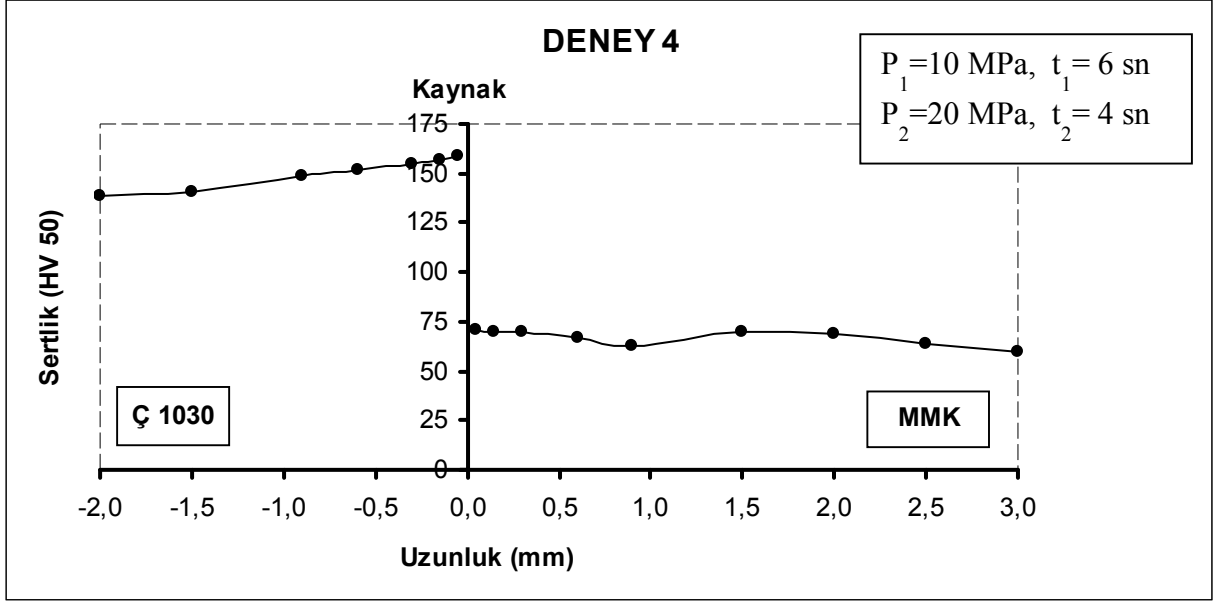
Yüksek çekme dayanımlı deney numunelerinden 3 tane, düşük çekme dayanımlı deney numunelerinden ise 2 tane olmak üzere 5 farklı numunenin mikrosertlik değerleri incelenmiş, sonuçlar ayrı ayrı (Şekil 6.3-6.7) ve aynı grafik üzerinde şekil 6.8’da verilmiştir.



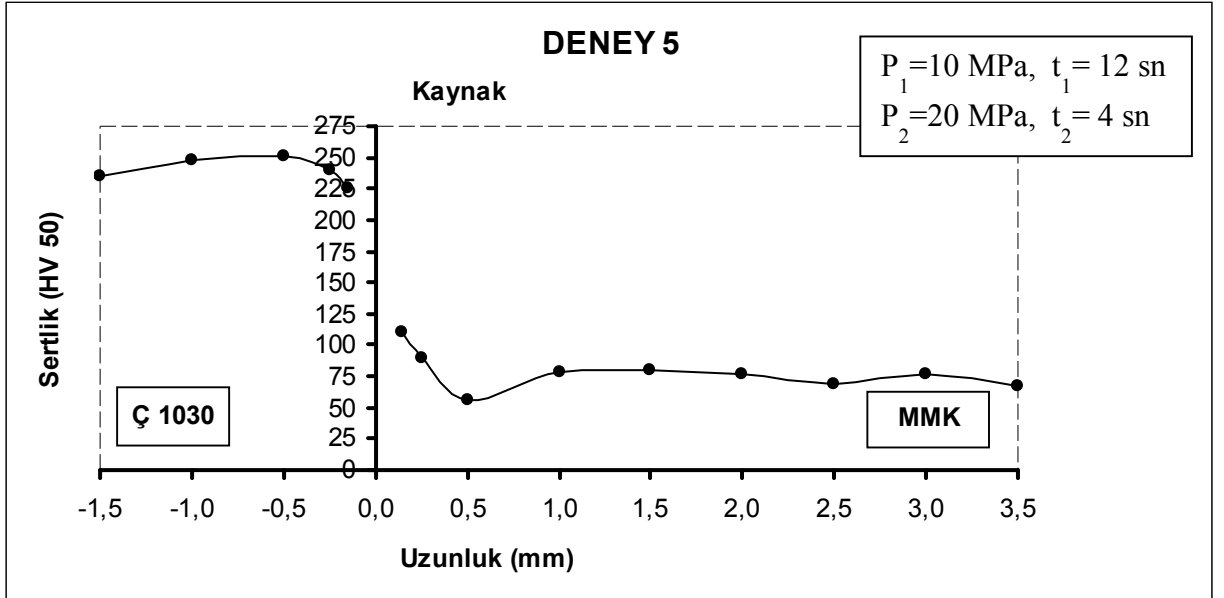
Şekil 6.3 2 Numaralı Deney Numunesinin Sertlik Diyagramı



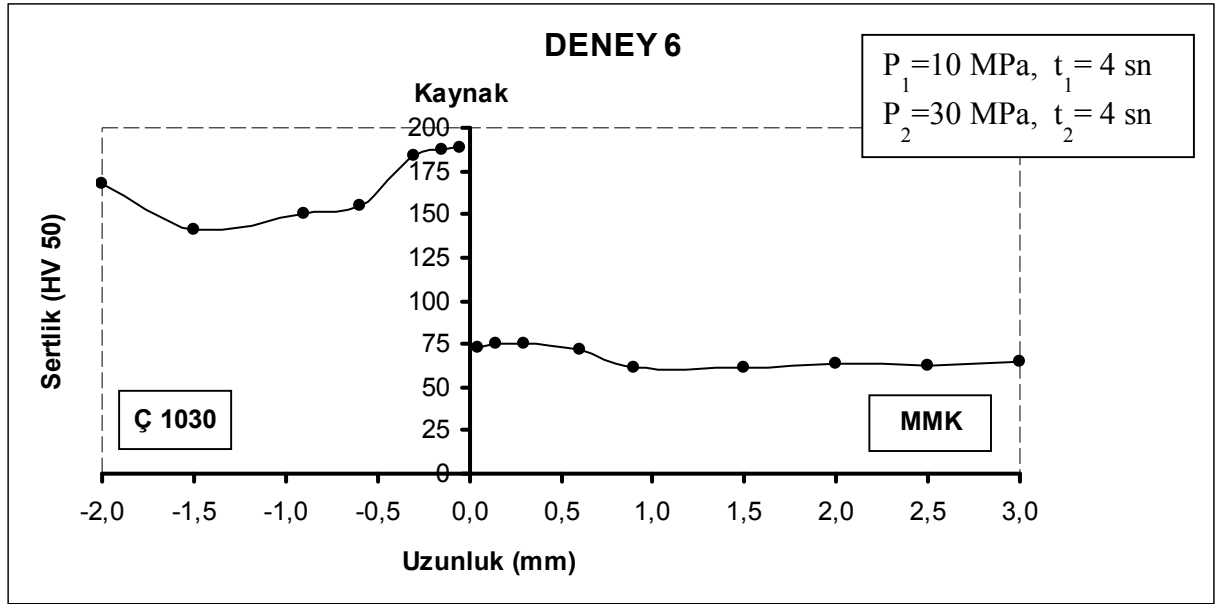
Şekil 6.4 3 Numaralı Deney Numunesinin Sertlik Diyagramı



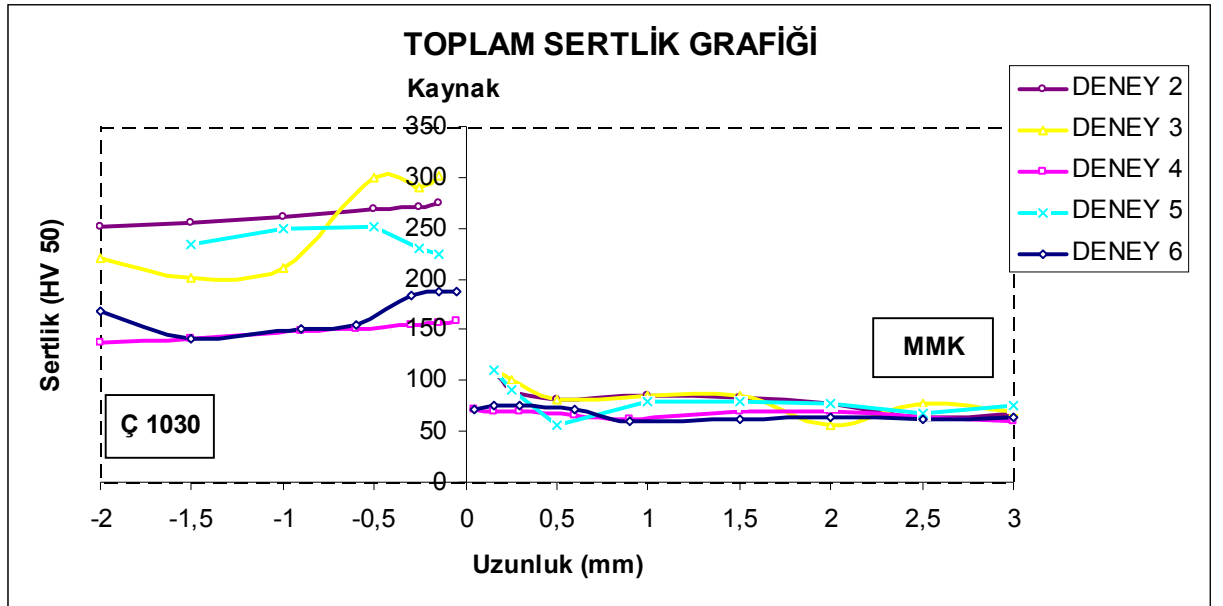
Şekil 6.5 4 Numaralı Deney Numunesinin Sertlik Diyagramı



Şekil 6.6 5 Numaralı Deney Numunesinin Sertlik Diyagramı



Şekil 6.7 6 Numaralı Deney Numunesinin Sertlik Diyagramı



Şekil 6.8 Deneylerin Sertlik Dağılımları

Mikrosertlik grafiklerine bakıldığında, kaynak bölgesinden ana malzemelere doğru gidildikçe sertlik değerlerinin değişimi görülmüştür. Bu değişim ana malzemelerin sertlik değerlerine ulaşıncaya kadar devam etmiştir. MMK tarafında partikül kırılmasının olduğu bölgede birim alana daha fazla partikül düşmesiyle sertlik artışı başlamakta ve birleşme bölgesinin çelik tarafında maksimuma

ulaşmaktadır. Maksimum sertliğin çelik tarafında meydana gelmesi ise, deformasyon nedeniyle kaynak bölgesinin çelik tarafında tane yapısının oldukça incelmelerinden ve deformasyondan kaynaklanmaktadır. Mikrosertlik ölçüm sonuçları [23] çalışması ile uygunluk sağlamıştır. Kaynak merkezinden Ç1030 tarafına ilerlendiğinde mikrosertlik değerinde MMK malzemeye oranla daha fazla değişiklik olduğu görülmüştür.

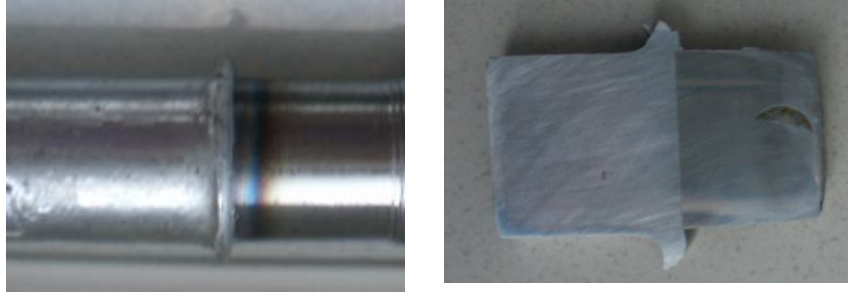
Deney 2, Deney 3 ve Deney 5’de yüksek basınç ve uzun sürtünme sürelerinde malzemeler arası difüzyonun gerçekleşmesi, intermetalik fazların oluşması ve deformasyonun artmasıyla kaynak bölgesinin genişlemesine yol açmıştır. Kaynak bölgesinin hemen yanında deformasyona uğramış bölgede, deformasyon sertleşmesi, demir, alüminyum ve SiC’ün yaptığı karbür çökeltisi ve intermetalik fazların oluştuğu, bunların sertliği arttırdığı tahmin edilmiştir. Ayrıca intermetalik fazların kalınlığı [51] kaynağın dayanımı açısından önemlidir. Özellikle intermetalik faz kalınlığının gereğinden fazla olması dayanımı düşürmekte ve mekanik özellikleri olumsuz etkilemektedir. Kaynak parametreleri ile oynanarak intermetalik fazların kalınlığı kontrol altına alınabileceği savunulmuştur [51]. Bu numunelerde aynı zamanda yığılma ve sıcaklığın etkisiyle vizkoz yapı içerisinde tane geçişleri olduğu düşünülmüştür. Fe’nin bir kısmının kaynak işlemi sırasında MMK tarafına, Al ve Si’nin Ç1030 tarafına geçtiği ve kaynak bölgesinde toplandığı, bunun da sertliği arttırdığı söylenebilir. Deney numunelerinde sürtünme sürelerinin 10 sn’den daha yüksek seçilmemesi sayesinde kaynak bölgesinde kaynak dayanımını düşürecek daha yüksek sertlik değerlerine ulaşılmasının önüne geçilmiştir.

Deney 4 ve Deney 6’da sürtünme ve yığılma basınçlarının düşük olması MMK ve Ç1030 malzemeleri arasında bağlantı yüzeyinde kaynak bölgesinin gereğinden dar olduğu ve malzemeler arası difüzyonun gerçekleşmediği, sürtünme basıncı ve sürtünme süresinin malzemelerin birbirine kaynaklanması için yeterli olmadığı, malzemeler arası sadece ufak bir yapışma olduğu düşünülmektedir. Kaynak bölgesinin mikro sertlik değeri en yüksek 3 numaralı deney numunesinde, en düşük 4 numaralı deney numunesinde görülmüştür. Sürtünme basıncı ve sürtünme sürelerinin mikrosertlik değerlerini doğrudan etkilediği görülmüştür.

6.3 Makro ve Mikro Yapı İnceleme Sonuçları

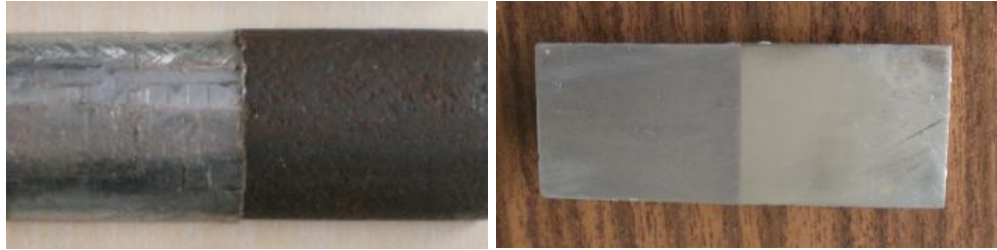
6.3.1 Makro Yapı İnceleme Sonuçları

Makroskobik inceleme için çekme dayanımı yüksek olan ve düşük olan birer adet numune görüntülenmiştir (Şekil 6.9-10).



Şekil 6.9 5 Numaralı Deney Sürtünme Kaynağı Numunesine Ait Makro Fotoğraf

($P_1=10$ MPa, $P_2=20$ MPa, $t_1=12$ sn, $t_2=4$ sn)



Şekil 6.10 6 Numaralı Deney Sürtünme Kaynağı Numunesine Ait Makro Fotoğraf

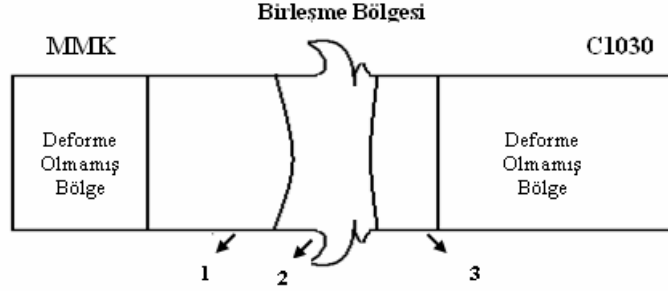
($P_1=10$ MPa, $P_2=30$ MPa, $t_1=4$ sn, $t_2=4$ sn)

Makroskobik fotoğraflardan da anlaşılacağı gibi kaynak parametrelerine bağlı olarak malzemelerde sürtünme, yığıma basınçları ve sürtünme süresinin etkisiyle oluşan deformasyon ve flanş miktarı değişmektedir.

6.3.2 Mikro Yapı İnceleme Sonuçları

Mikro yapı incelemeleri sonucunda kaynak yeri ve iki numunenin kaynağa yakın bölgelerinde yapısal farklılıklar gözlenmiştir. Bu farklılığın nedeni kaynak parametrelerinin etkisiyle kaynak bölgesindeki deformasyon ve sıcaklık farklılıklarıdır.

İki farklı malzemenin kaynağında meydana gelen yapı değişimleri üç farklı bölge olarak görülmektedir. Bunlardan, birincisi MMK'nın kısmen deforme olmuş bölgesini, ikincisi kaynak merkezindeki tamamen deforme olmuş bölgeyi, üçüncüsü ise Ç1030'un kısmen deforme olmuş bölgesini göstermektedir (Şekil 6.11)

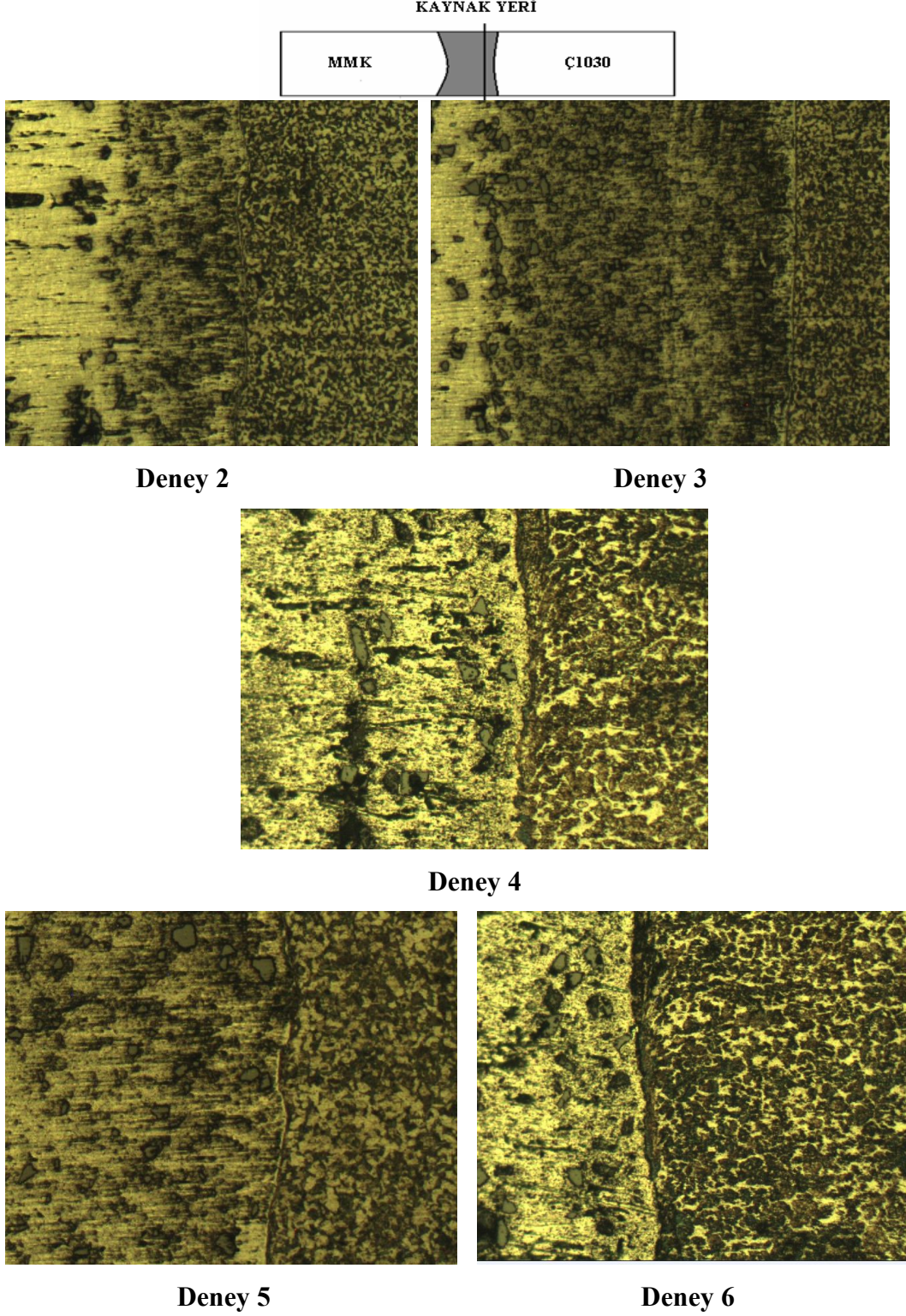


Şekil 6.11 Sürtünme Kaynaklı Numunelerin Tane Yapısı [41]

Hazırlanan 5 farklı parametreye ait numunenin mikro yapılarında göze çarpan Ç1030 malzemesinin mikro yapısında meydana gelen değişimin MMK malzemesine göre çok az olmasıdır. Ç1030 tarafında oluşan taneli yapı değişimleri tam olarak tespit edilememiş, MMK tarafındaki kaynağa yakın kısımdaki basınç ve sürenin etkisiyle kaynak bölgesindeki yapı değişimi tam olarak tespit edilmiştir.

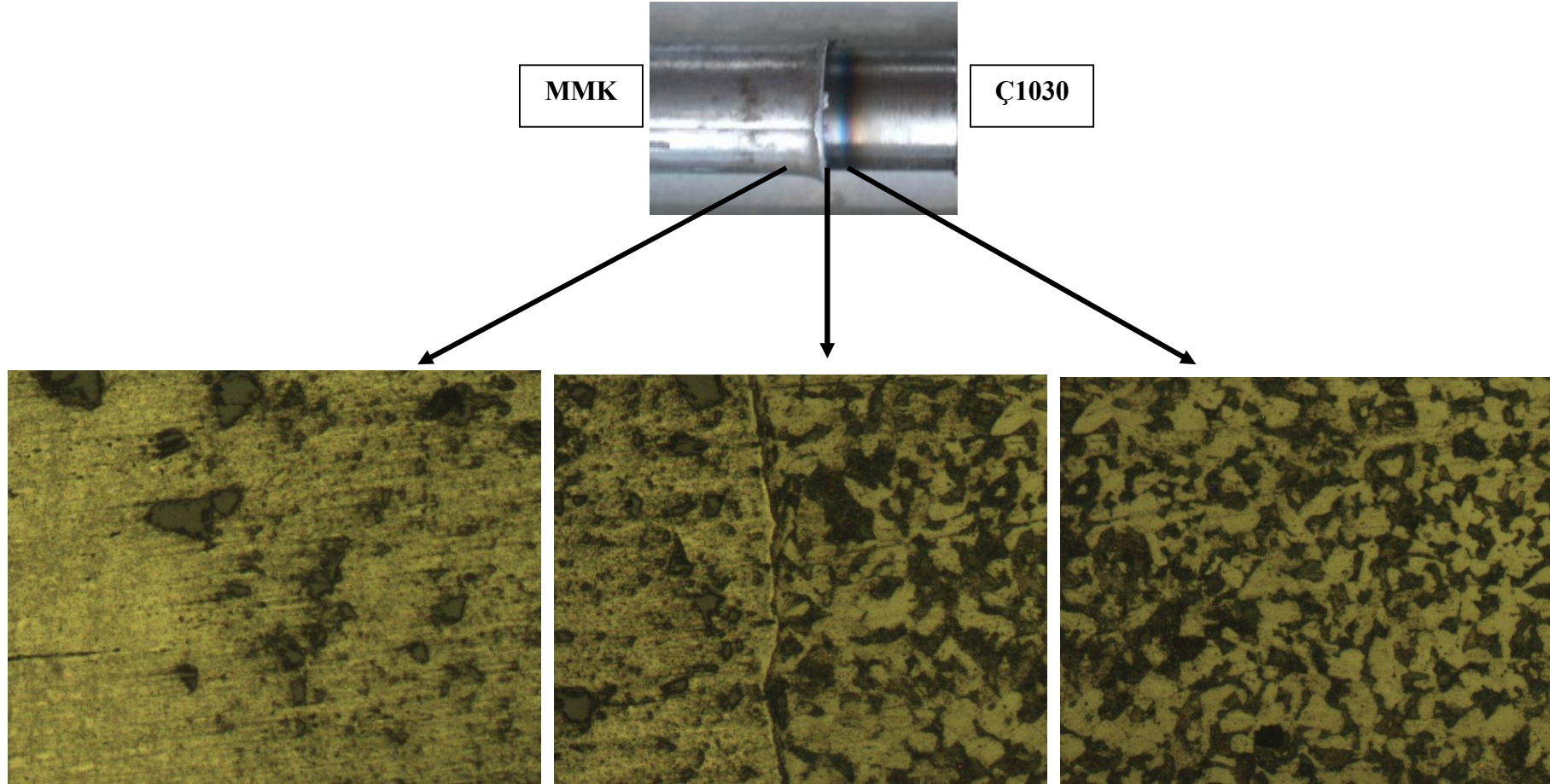
6.3.2.1 Optik Mikroskop İnceleme Sonuçları

5 farklı deney numunesinin mikroyapı görüntüleri alınmıştır (Şekil 6.12).

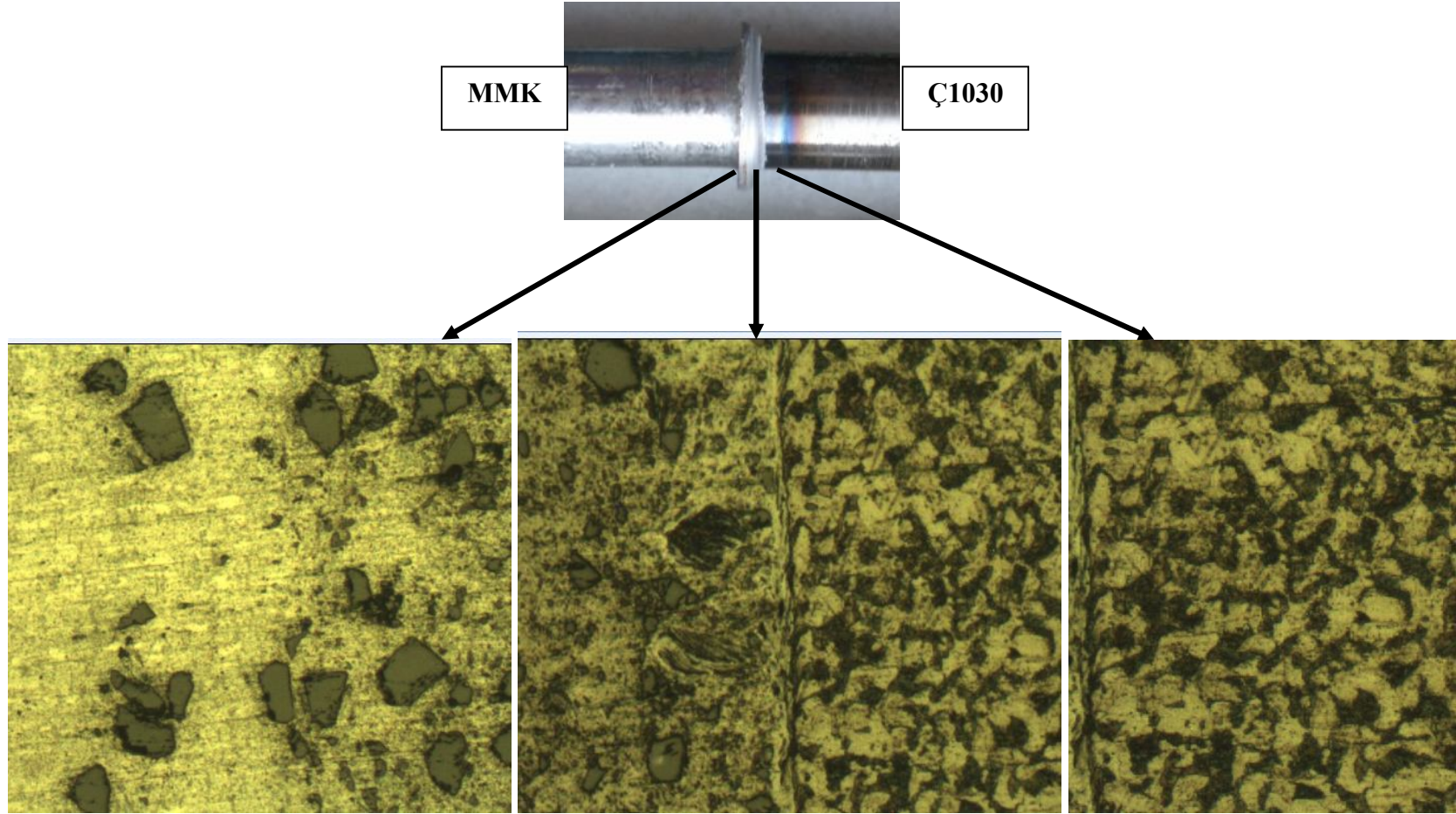


Şekil 6.12 Farklı Parametrelerin Kaynak Yerlerinin Optik Mikroskop Görüntüleri (50X)

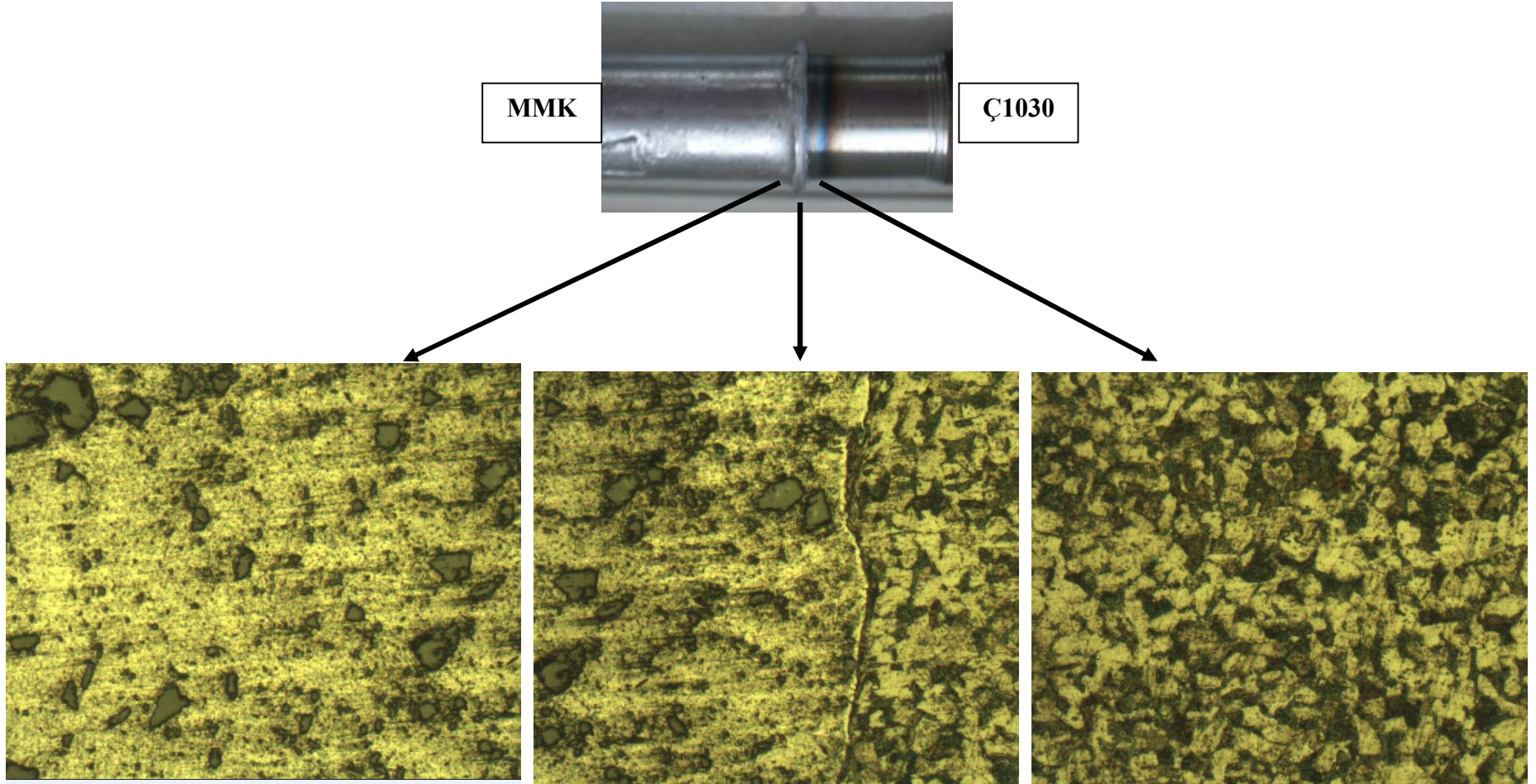
3 adet numunenin ayrıntılı olarak 200x büyütmede optik görüntüleri alınmıştır (Şekil 13-15).



Şekil 6.13 2 Numaralı Deneysel Numunesinin Optik Mikroskop Görüntüsü (200X)



Şekil 6.14 3 Numaralı Deney Numunesinin Optik Mikroskop Görüntüsü (200X)



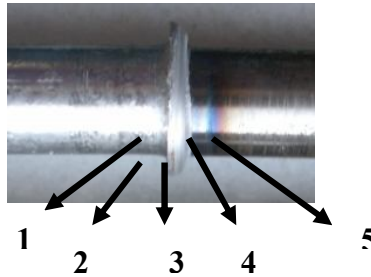
Şekil 6.15 5 Numaralı Deney Numunesinin Optik Mikroskop Görüntüsü (200X)

4 ve 6 numaralı numuneler incelediğinde kaynak bir çizgi halinde görülmüş, kaynak bölgesinde malzemelerin birbirine difüze olduğu geçiş bölgesi görülmemiştir. Bu numunelerde flanş ve kaynak bölgesinin oluşmadığının gözle ve optik incelemelerde görülmesi ile ayrıntılı incelemeleri yapılmamıştır. Malzemelerin birbirine sadece mekanik kilitlenme ile bağlandıkları, taneler arası difüzyon olmadığı düşünülmektedir. Bunun sebebi olarak sürtünme basıncı ve sürtünme süresinin yeterli olmadığı düşünülmektedir. Deney 4 ve 6'da, (sırasıyla $P_1=10$ MPa, $P_2=20$ MPa, $t_1=6$ sn ve $P_1=10$ MPa, $P_2=30$ MPa, $t_1=4$ sn), gerekli kaynak kalitesi sağlanamamıştır.

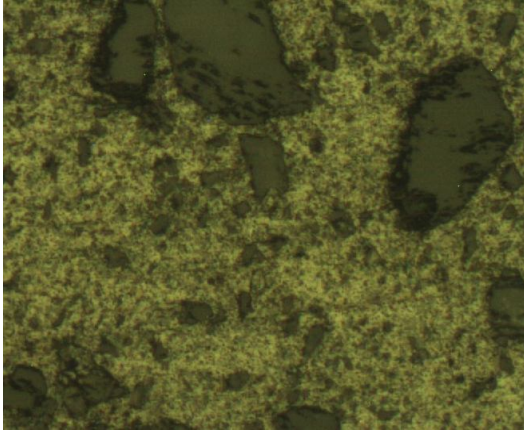
2, 3 ve 5 numaralı deney numunelerinin bağlantı kalitesinin çok iyi olduğu görülmektedir. Özellikle kaynak bölgesinin genişliği kolayca görülmektedir. Malzemelerin birbirine kaynak bağlantısının sağlayacak yeterli miktarda difüze olduğu MMK malzemesinde kolayca görülmektedir. Yüksek basınç ve yeterli sürtünme süresi ile taneler arası difüzyonun yeterince sağlandığı ve kaynak bölgesinin oluştuğu görülmüştür.

Sürtünme kaynağı ile birleştirilen numunelerde sürtünme basıncı ve sürtünme süresi kaynak bölgelerinin birbirlerinden farklı genişlikte olmasına ve bu değerlerin artmasıyla kaynak bölgesi genişliğinin arttığı görülmüştür.

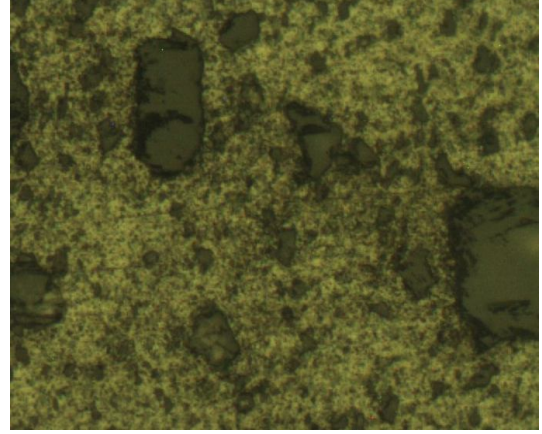
Numunelerin mikro yapılarında görülen değişiklikleri daha iyi saptamak için mekanik özelliklerinin en iyi olduğu düşünülen 3 numaralı deney numunesinin 500X büyütme oranıyla ayrıntılı optik incelemesi yapılmıştır.



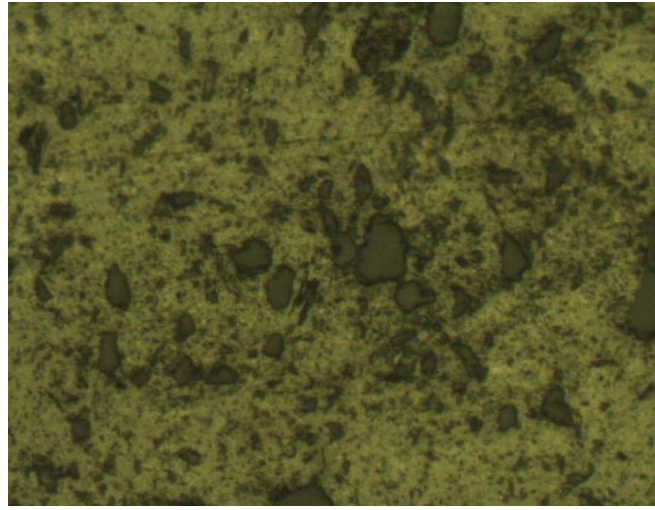
Şekil 6.16 3 Numaralı Deney Numunesinin Mikroskop Görüntülerinin Alındığı Noktalar (500X)



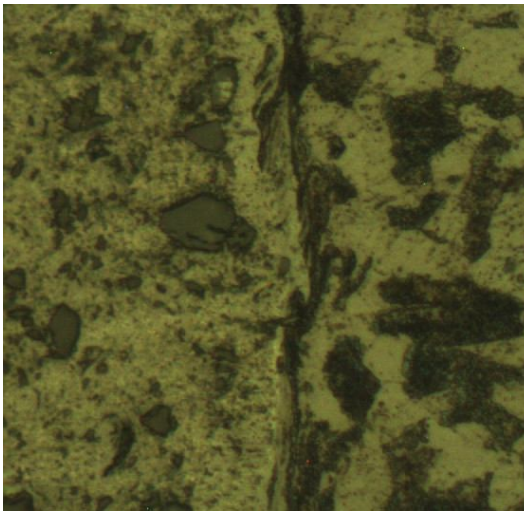
1



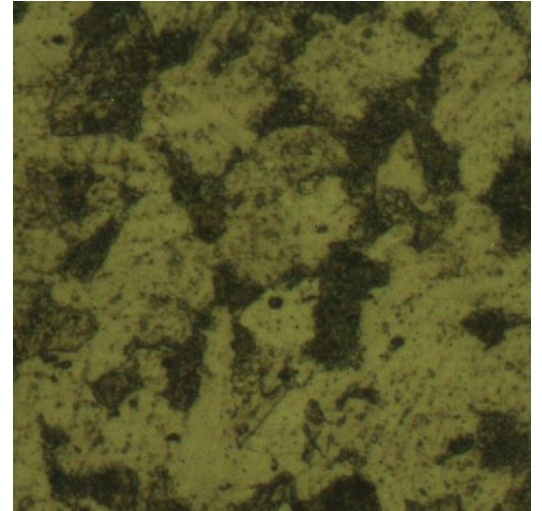
2



3



4



5

Şekil 6.17 3 Numaralı Deney Numunesinin Optik Mikroskop Görüntüleri
(500X)

Mikro yapı incelemelerinde MMK malzemesinin tane yapısında değişiklikler olduğu, Ç1030 malzemesinin tane yapısında fazla değişiklik olmadığı görülmüştür. Ç1030 tarafında tane yapısının değişmemesinin nedeni sürtünme basıncı ve süresinin yeterli gelmemesidir. Çok fazla sürtünme basıncı ya da sürtünme süresinin çelik için arttırılmasının MMK malzemeyi olumsuz etkileyeceği düşünölmüş (intermetalik faz oluşumuyla dayanımın düşmesi gibi), MMK malzeme baz alınarak işlemler yapılmıştır.

Genel olarak MMK malzemesinde; kaynak bölgesine yaklaştıkça sürtünme ve yığma basıncının etkisiyle SiC partiküllerinde kırılmalar oluşmuştur. Bu da kaynak bölgesinde yığılmalara neden olmuştur. Numuneler optik mikroskopta incelendikten sonra yüksek basınç ve sürelerde kaynak bölgesinde sertlik değerlerinin neden yükseldiği daha iyi açıklanabilmiştir. Ayrıca kaynak bölgesinde sürtünmeden kaynaklanan sıcaklığın ve yığma basıncının etkisiyle Al-Fe intermetalik fazlarının oluştuğu düşünölmektedir. Literatürde de yüksek basınç ve yeterli sürelerde malzemelerin birbirine difüzyonu başladıktan sonra kaynak bölgesinde yeteri sıcaklık sağlandığı takdirde 400°C'den fazla Al ile Fe arasında meydana gelen Fe_2Al_5 ve $FeAl_3$ gibi intermetalik fazların oluşabileceği savunulmuştur [50]. Bu intermetalik fazlar gevrek yapı oluşturmalarından dolayı, genişliği kaynak dayanımını olumsuz etkilemekte ve düşürmektedir. Bunun önüne geçilmesi için daha önce bahsedilen yüksek sürtünme ve yığma basıncı ile yeterli sürtünme süresi şartlarının sağlanması gerekir.

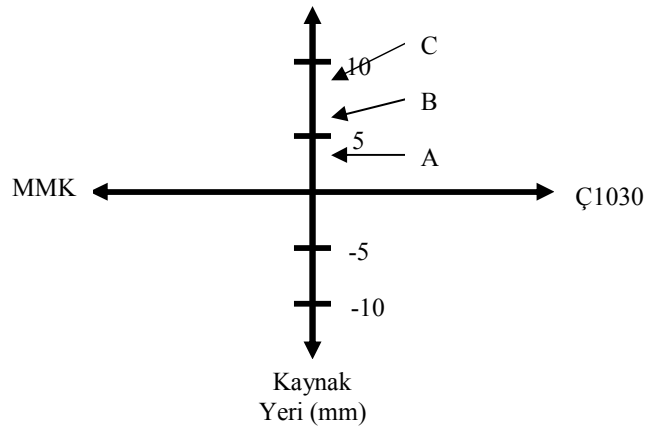
6.3.2.2 SEM İnceleme Sonuçları

Numunelerin mikro yapı görüntülerinin ardından kaynak bölgesinin (K.B.) değişimini daha iyi inceleyebilmek için mekanik özelliklerinin en iyi olduğu düşünölen 3 numaralı deney numunesinin SEM'de ayrıntılı görüntüleri alınmıştır.

Sürtünme kaynağında kaynak merkezinde çevresel hız sıfırdır. Çap genişledikçe ve merkezden uzaklaştıkça bu hız artar. Hızın artmasıyla sürtünme artmış ve oluşan ısı da buna paralel olarak artmıştır. Buna bağlı olarak merkezden

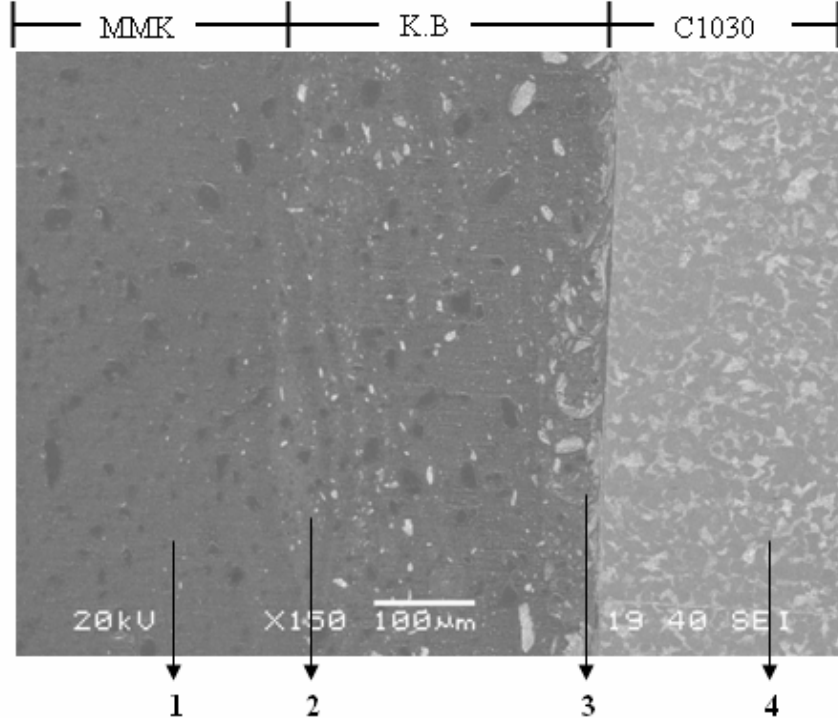
uzaklaştıkça ITAB bölgesinin genişliği artmaktadır [49]. ITAB bölgesinin değişmesi kaynak bölgesini doğrudan etkilediği düşünülmektedir. Bu nedenle kaynak merkezinden uzaklaştıkça kaynak bölgesinin değişimi incelenmiştir.

Aşağıda 3 numaralı deney numunesinin merkeze yaklaştıkça ayrıntılı SEM fotoğrafları görülmektedir. Şekil 6.18’de görüntülerin alındığı ayrı ayrı incelendiği A, B ve C noktaları görülmektedir.

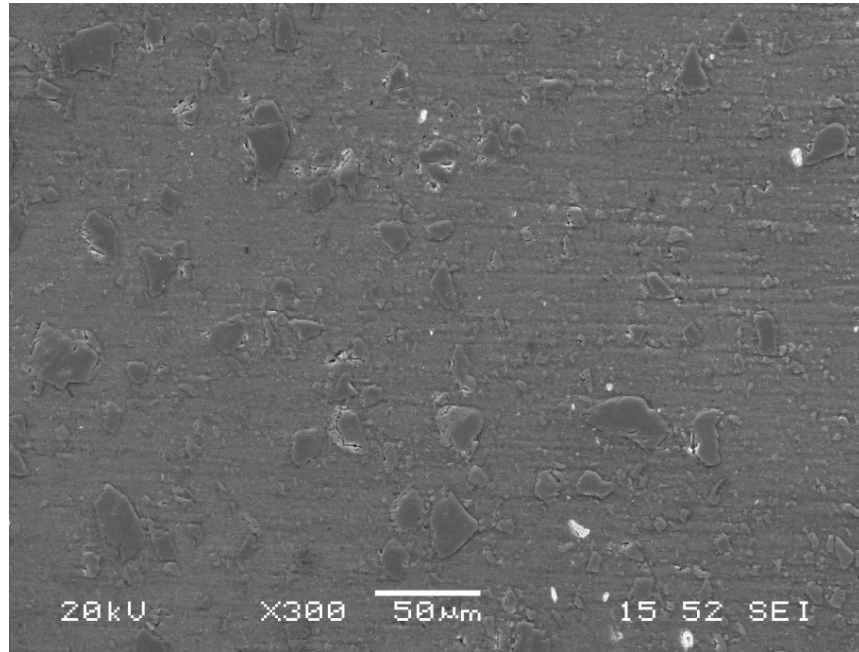


Şekil 6.18 3 Numaralı Deney Numunesinden SEM Görüntülerinin Alındığı Noktalar

Kaynak bölgesinin C bölgesindeki SEM görüntüleri Şekil 6.19-25’de görülmektedir.

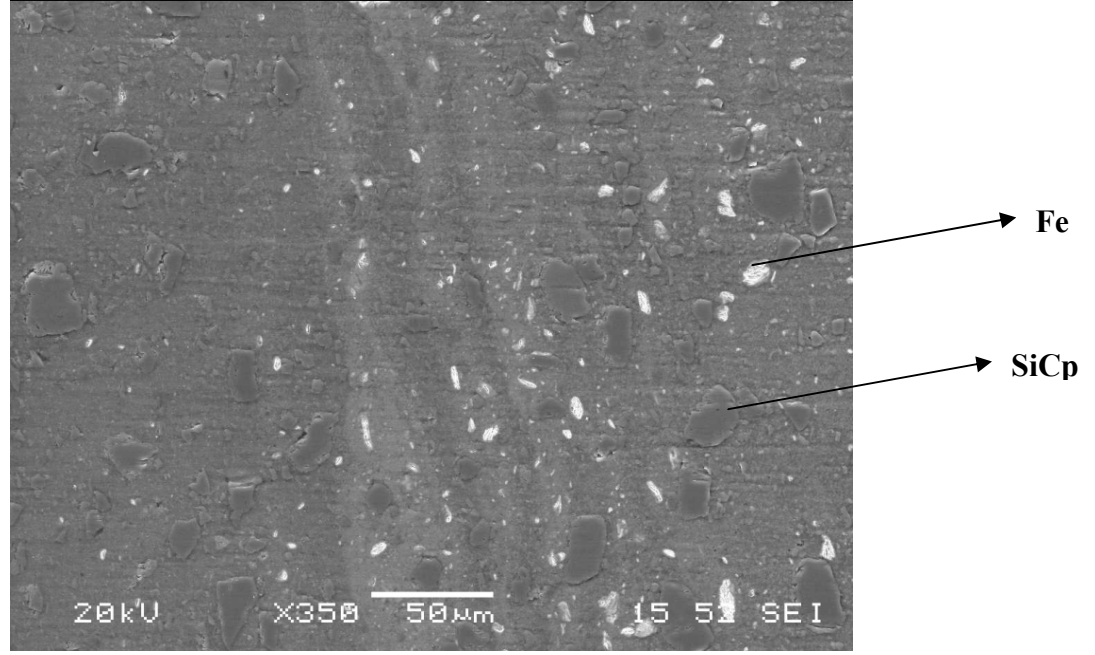


Şekil 6.19 3 Numaralı Deney Numunesine Ait C Bölgesinin SEM Fotoğrafi



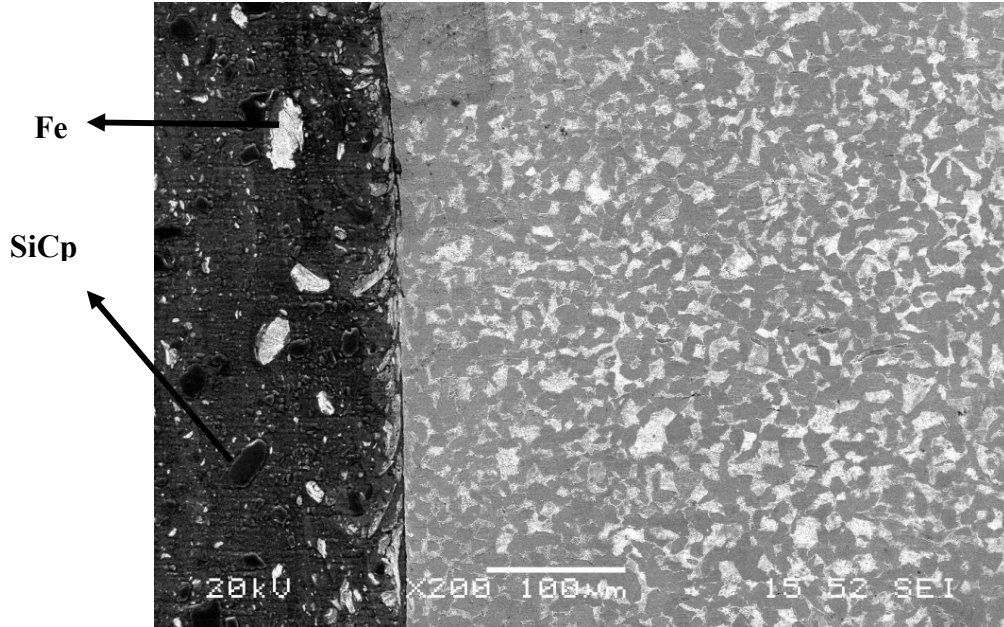
Şekil 6.20 3 Numaralı Deney Numunesine Ait C-1 Noktasının SEM Fotoğrafi

Şekil 6.21’de görülen açık renkli kısımlar Fe’yi, koyu renkli kısımlar ise SiCp’yi göstermektedir.

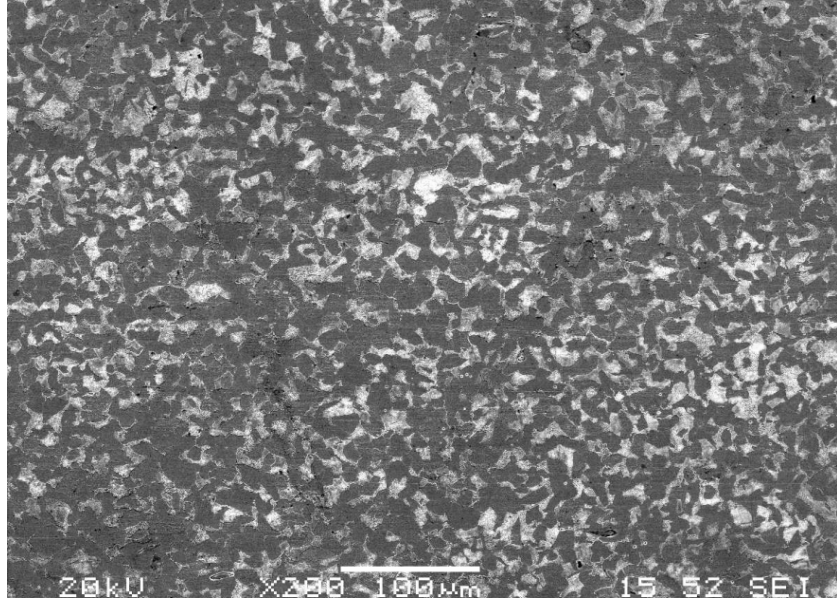


Şekil 6.21 3 Numaralı Deney Numunesine Ait C-2 Noktasının SEM Fotoğrafi

Şekil 6.22’de MMK ve Ç1030 malzemeler arasında kontrastlık oluşturularak malzemelerin daha iyi anlaşılması sağlanmıştır. Açık renkli kısımlar Ç1030’yi, koyu renkli kısımlar ise MMK’yı göstermektedir. Ayrıca Fe ve SiCp de gösterilmiştir.

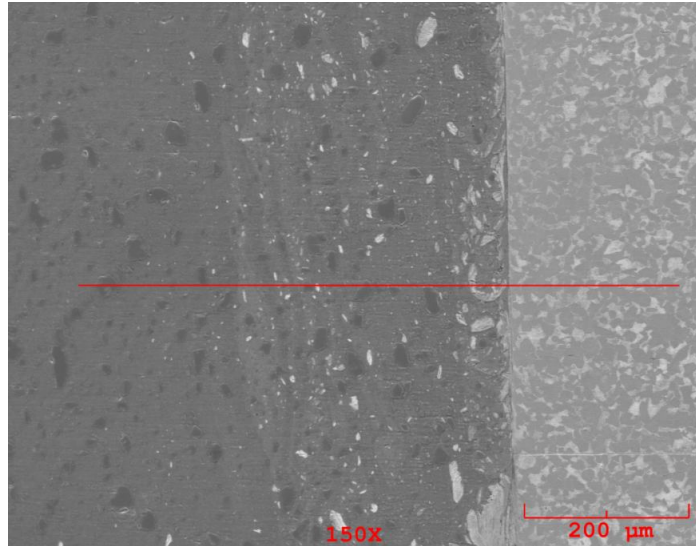


Şekil 6.22 3 Numaralı Deney Numunesine Ait C-3 Noktasının SEM Fotoğrafi

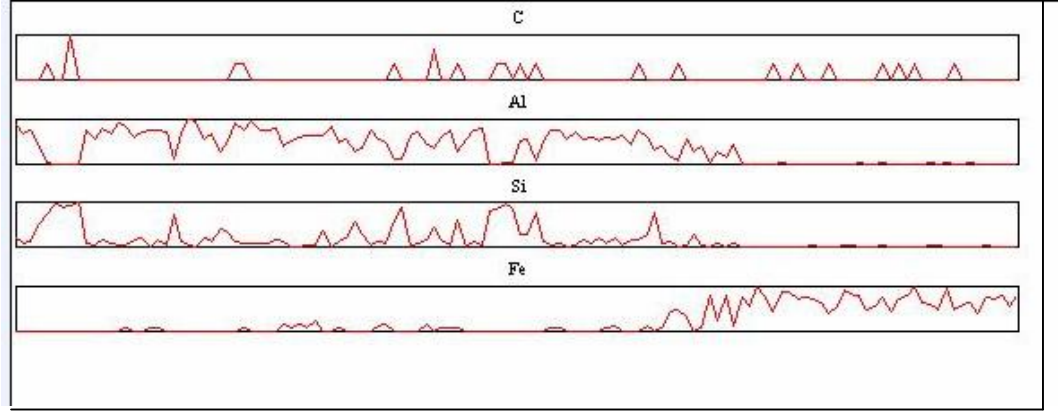


Şekil 6.23 3 Numaralı Deney Numunesine Ait C-4 Noktasının SEM Fotoğrafi

SEM incelemesinin ardından C bölgesinden doğrusal EDS analizi alınmıştır. Şekil 6.24’de EDS analizinin alındığı doğrultu, Şekil 6.25’de ise sonuçları görülmektedir.



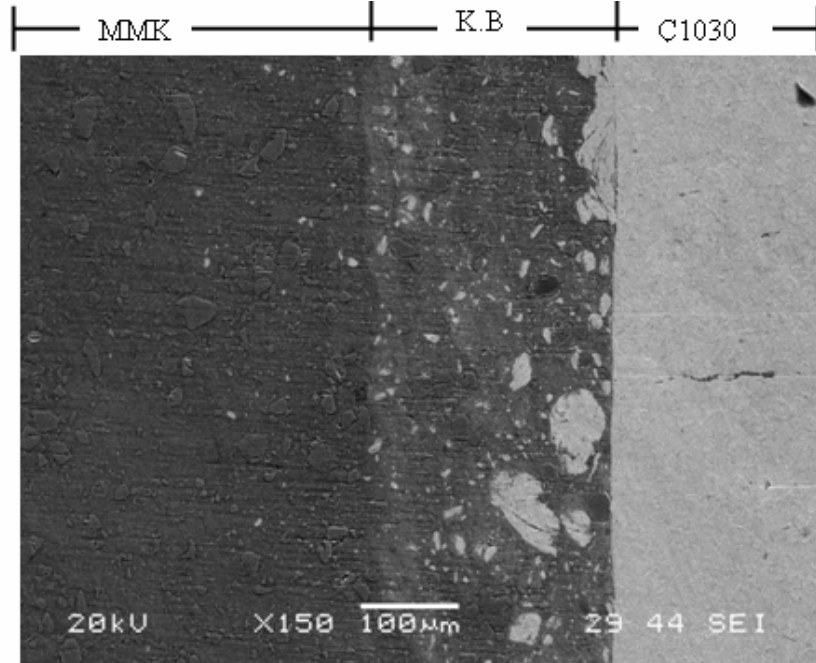
Şekil 6.24 3 Numaralı Deney Numunesine Ait C Bölgesinin EDS Analizinin Yapıldığı Hat



Şekil 6.25 3 Numaralı Deney Numunesine EDS Analizi

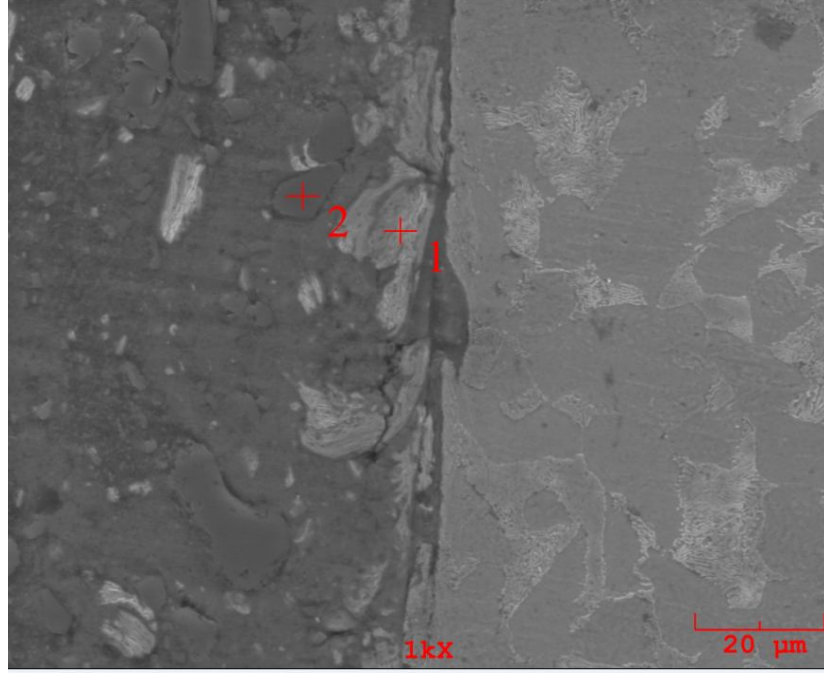
K.B’de Fe elementi ile SiC ve Al malzemelerinin kaynak bölgesine difüzesi görülmektedir. Buradan da malzemelerin iyi difüze olduğu kolayca anlaşılmıştır. Özellikle Fe elementinin MMK bölgesinde geniş alana difüzyonu görülmektedir. Bu da kaynak dayanımını ve bu bölgedeki mikrosertlik değerlerini arttırmıştır.

Şekil 6.26-29’da 3 numaralı deney numunesinin B bölgesine ait SEM fotoğrafları görülmektedir.

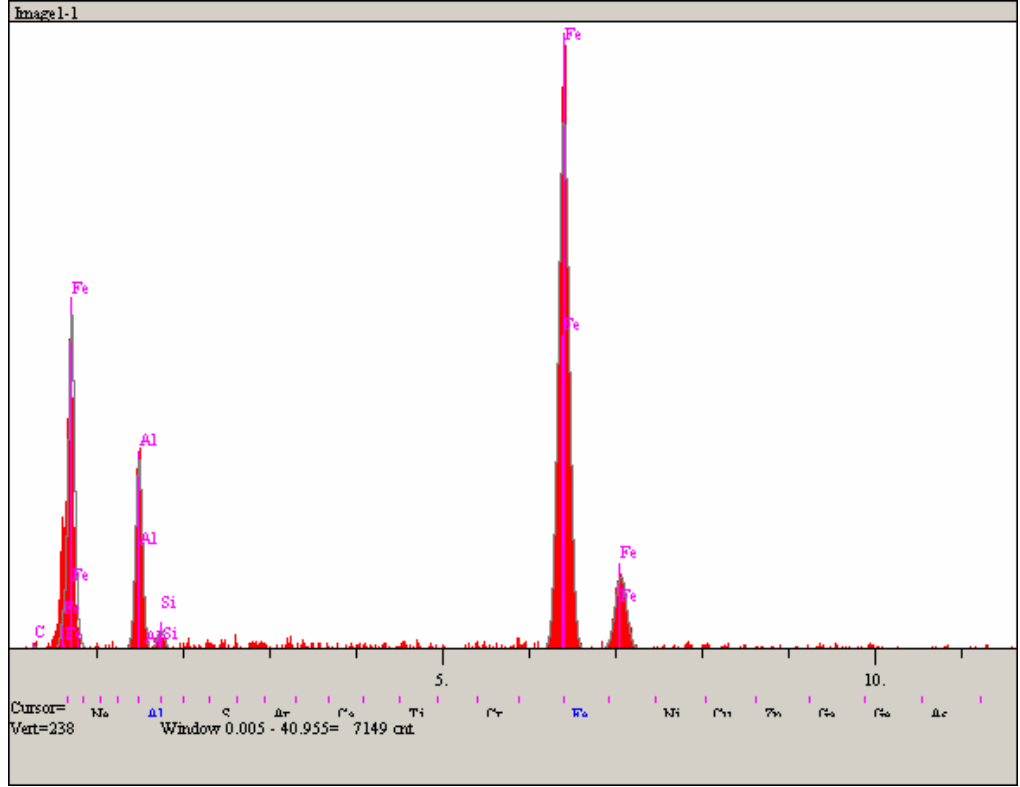


Şekil 6.26 3 Numaralı Deney Numunesine Ait B Bölgesinin SEM Fotoğrafi

Şekil 6.27’de yapılan incelemede C bölgesinden farklı olarak doğrusal EDS analizi değil, noktasal EDS analizi alınmıştır. Amaç; daha önce şekil 6.21 ve şekil 6.22’de gösterilen Fe ve SiCp’lerin doğruluğunu ispatlamaktır. Şekil 6.27’de analizin yapıldığı noktalar, şekil 6.28 ve 6.29’de analiz sonuçları görülmektedir.

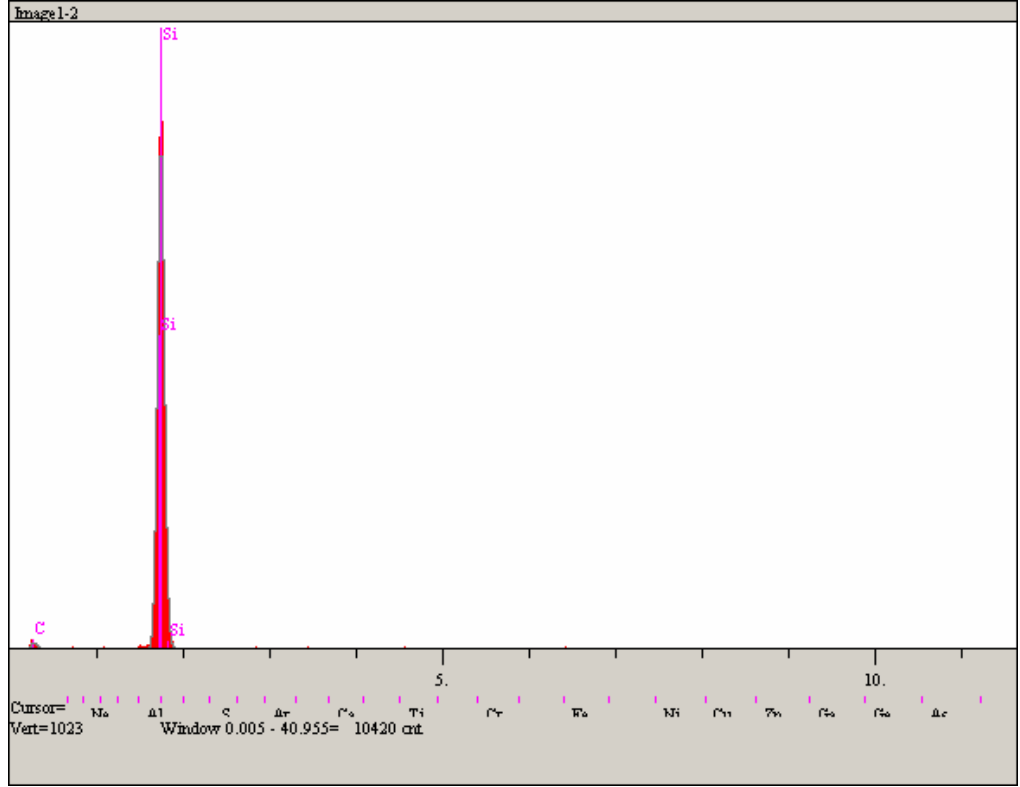


Şekil 6.27 3 Numaralı Deney Numunesine Ait B Bölgesinin Kaynak Bölgesi SEM Fotoğrafi



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	0.65	0.512	2.481	wt.%	
Al	Ka	71.64	5.352	13.362	wt.%	
Si	Ka	7.54	1.736	1.262	wt.%	
Fe	Ka	315.34	11.229	82.894	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

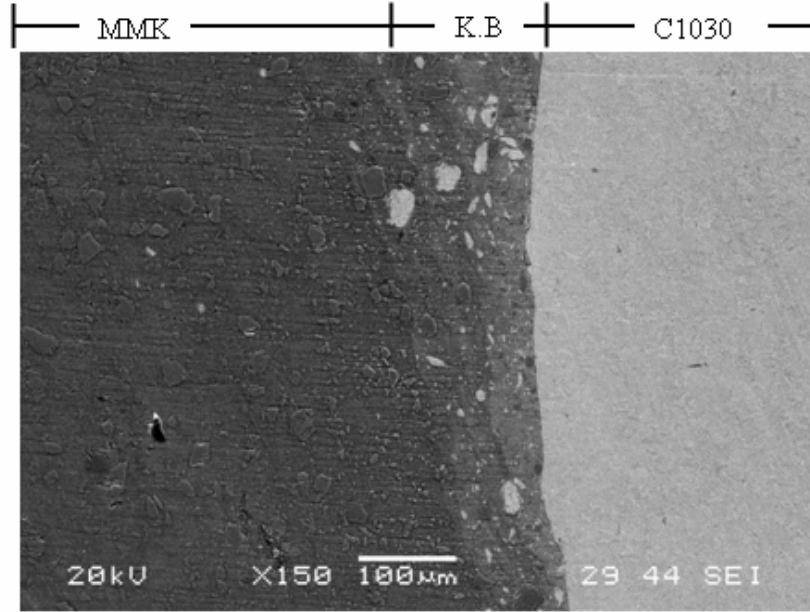
Şekil 6.28 3 Numaralı Deney Numunesine Ait B-1 Noktasının EDS sonucu



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	10.38	2.037	50.876	wt.%	
Si	Ka	853.92	18.474	49.124	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil 6.29 3 Numaralı Deney Numunesine Ait B-2 Noktasının EDS sonucu

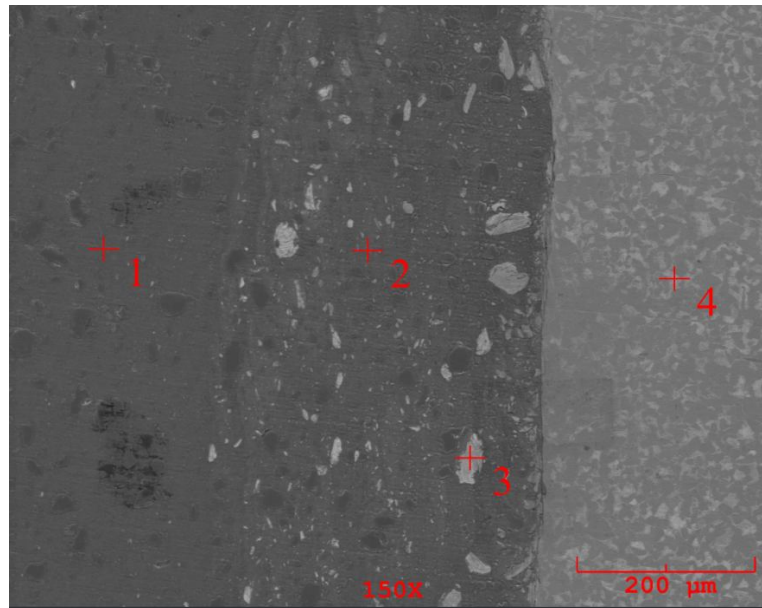
Şekil 6.30'da 3 numaralı deney numunesinin merkeze en yakın noktası olan A bölgesine ait SEM fotoğrafları görülmektedir.



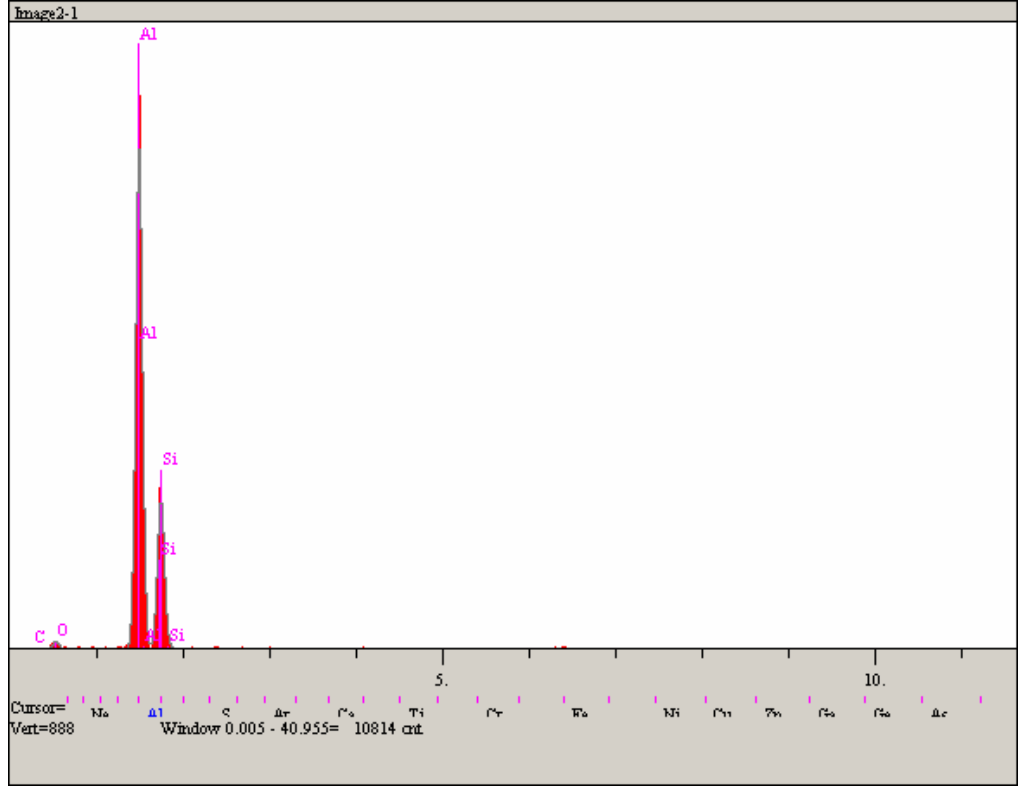
Şekil 6.30 3 Numaralı Deney Numunesine Ait A Bölgesinin SEM Fotoğrafi

Yapılan SEM incelemelerinde çevresel hızın etkisi ile K.B'nin değişimi görülmüş ve kaynak bölgesinin merkezden uzaklaştıkça arttığı saptanmıştır.

En iyi mekanik özellikleri veren 3 numaralı deney numunesinin en iyi K.B'si olduğu düşünülen bölgenin SEM görüntüsü (şekil 6.31) ve bu görüntünün 4 noktadan (şekil 6.32-35) EDS analiz sonuçları alınmıştır.

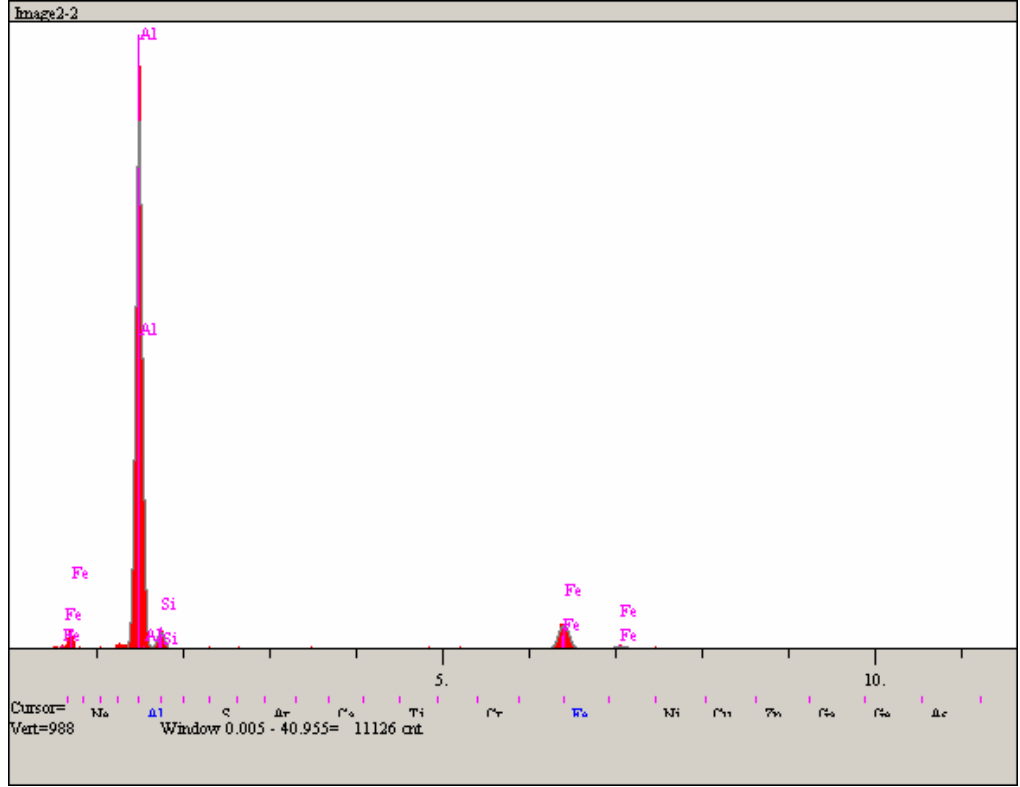


Şekil 6.31 3 Numaralı Deney Numunesine Ait SEM Fotoğrafi



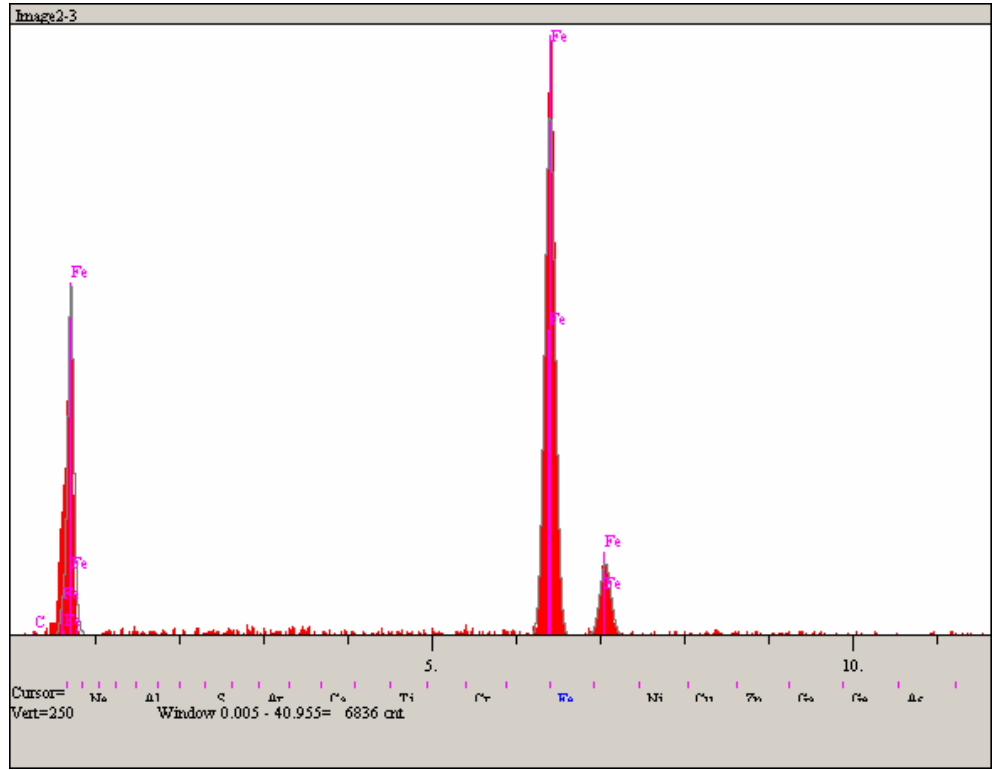
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%	
O	Ka	10.26	2.025	8.770	wt.%	
Al	Ka	705.27	16.791	56.328	wt.%	
Si	Ka	219.89	9.375	34.902	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil 6.32 3 Numaralı Deney Numunesine 1 Noktasının EDS sonucu



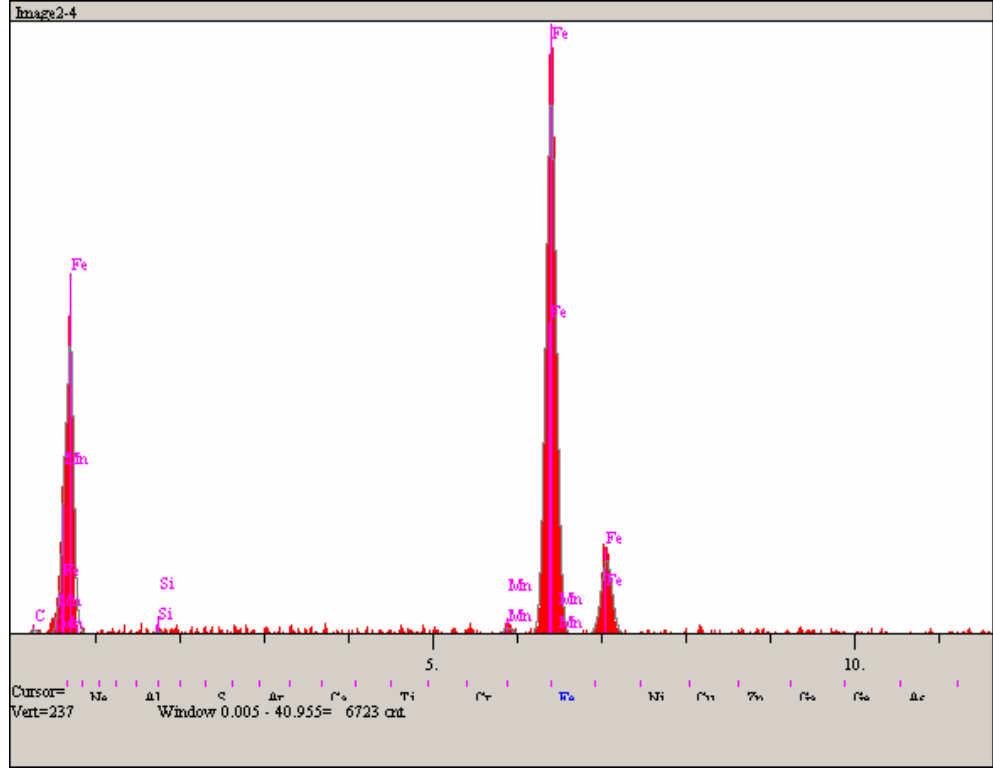
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
Al	Ka	827.94	18.190	78.551	wt.%	
Si	Ka	27.71	3.328	5.702	wt.%	
Fe	Ka	59.60	4.880	15.747	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil 6.33 3 Numaralı Deney Numunesine 2 Noktasının EDS sonucu



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%	
Fe	Ka	334.78	11.568	100.000	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil 6.34 3 Numaralı Deney Numunesine 3 Noktasının EDS sonucu



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	1.42	0.753	4.763	wt.%	
Si	Ka	1.09	0.661	0.193	wt.%	
Mn	Ka	3.24	1.139	0.717	wt.%	
Fe	Ka	324.07	11.382	94.326	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

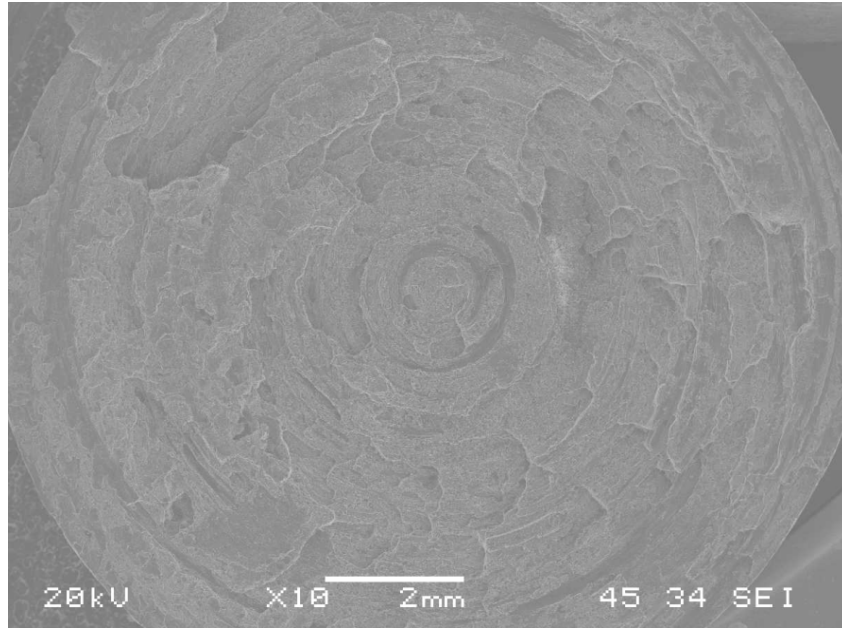
Şekil 6.35 3 Numaralı Deney Numunesine 4 Noktasının EDS sonucu

SEM görüntüleri ve EDS sonuçlarından anlaşılacağı gibi; K.B’de Al, SiCp ve Fe’nin dağılımı görülmüştür. MMK bölgede kaynak bölgesine yaklaştıkça SiC partiküllerinin boyutlarının küçüldüğü yani kırıldığı açıkça görülmektedir. Bu da sertlik deneylerinin incelenmesi kısmındaki yaptığımız ‘kaynak bölgesinde sürtünme basıncı ve sürtünme süresinin etkisiyle SiCp nin kırılarak partiküllerin kaynak bölgesine toplanması ve bu bölgede birim alana düşen partikül miktarının artmasıyla kaynak bölgesinde mikrosertlik değerlerinin artmasına neden olmuştur’ yorumumuza doğruluk getirmektedir. SEM görüntülerinde K.B’de SiCp kümelenmesine rastlanılamamıştır. Bu da kaynak dayanımının bu numunede yüksek olduğu bulgularını desteklemektedir.

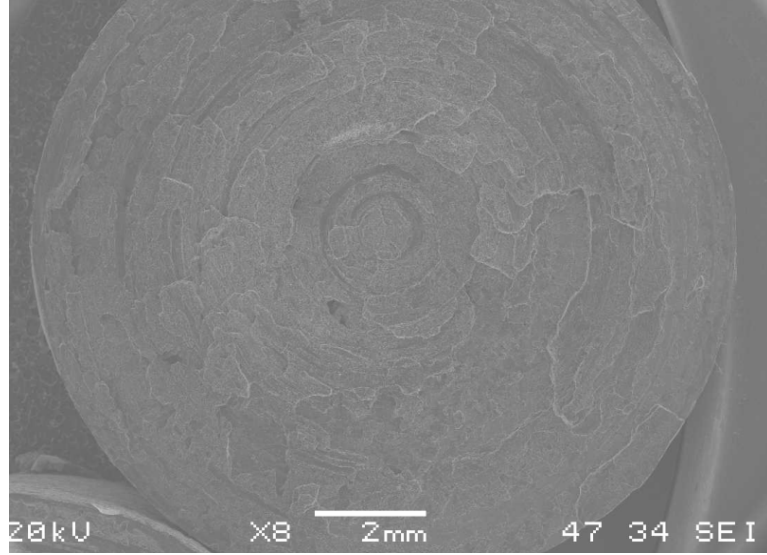
6.4 Kırılma Yüzeyi İnceleme Sonuçları

Sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş Ç1030 ve MMK malzemelerin çekme deneyleri sonrası kırılma yüzeyleri incelendiğinde tüm numunelerin aynı davranışı ve kırılmayı gösterdiği görülmüştür. Numunelerde kopmanın MMK malzeme tarafında kaynağa yakın bölgeden ya da nadiren de kaynak bölgesinden olduğu görülmüştür. Sürtünme kaynaklı numunelerin çekme testi diyagramlarında da mukavemet değerleri incelendiğinde, belirgin bir akma değeri görülmemiş, % uzama değerleri ise oldukça düşük elde edilmiştir. Bu da gevrek kırılma gerçekleştiğine işarettir.

Çekme deneyi sonrası sürtünme kaynaklı numunelerin kopma yüzeylerini daha yakından incelemek amacıyla SEM görüntüleri ve EDS analizleri alınmıştır (Şekil 7.1 ve Şekil 7.2).



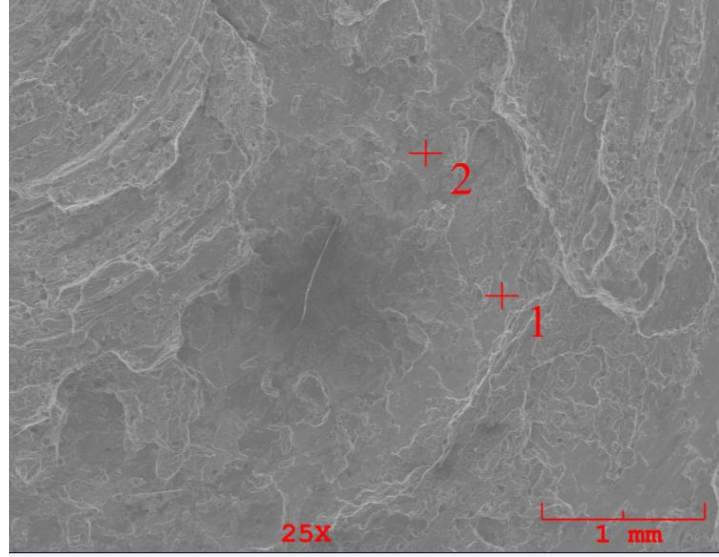
Şekil 7.1 Kırılma Yüzeyinin MMK Malzeme Tarafının SEM Görüntüsü



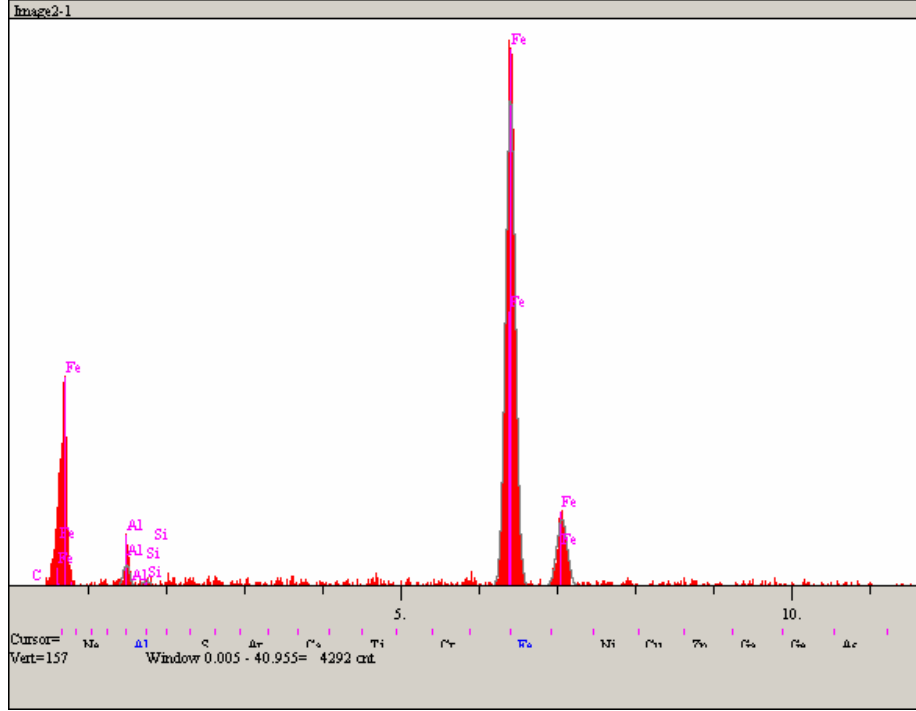
Şekil 7.2 Kırılma Yüzeyinin Ç1030 Malzeme Tarafının SEM Görüntüsü

Çelik malzemenin kopma yüzeyini daha yakından incelediğimizde, genel olarak pürüzsüz ve parlak bir yüzey halinde görülen yapılar gevrek kırılmanın sergilendiğini gösterir. Ancak beyaz örgüler halinde görülen yüzeyde girinti çıkıntının fazla olduğu, uygulanan çekme kuvvetinin etkisiyle büyük çukurcukların olduğu yapılar, az da olsa malzemenin bu kısımlarında sünek bir kırılmanın sergilendiğini göstermektedir [52].

Fe, Al ve SiCp kopma yüzeyindeki durumunu daha iyi anlayabilmek için Ç1030 malzemesi üzerinde noktasal (Şekil 7.3, Şekil 7.4 ve Şekil 7.5) ve doğrusal (Şekil 7.6 ve Şekil 7.7), MMK malzeme üzerinde ise doğrusal (Şekil 7.8 ve Şekil 7.9) EDS analizleri alınmıştır.

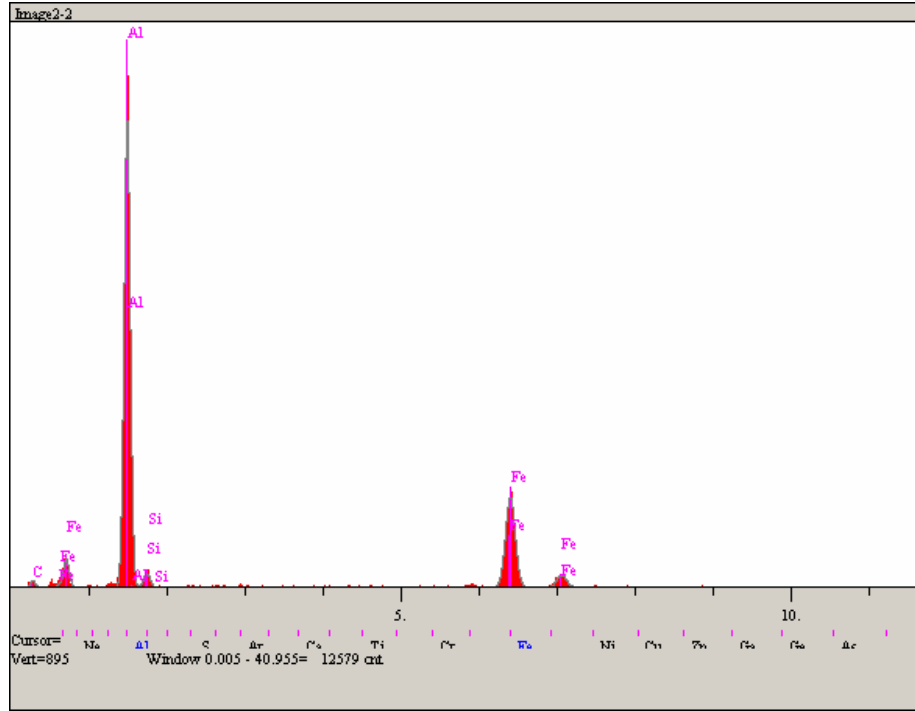


Şekil 7.3 Kırılma Yüzeyinin Ç1030 Malzeme Tarafında Alınan EDS Analiz Noktaları



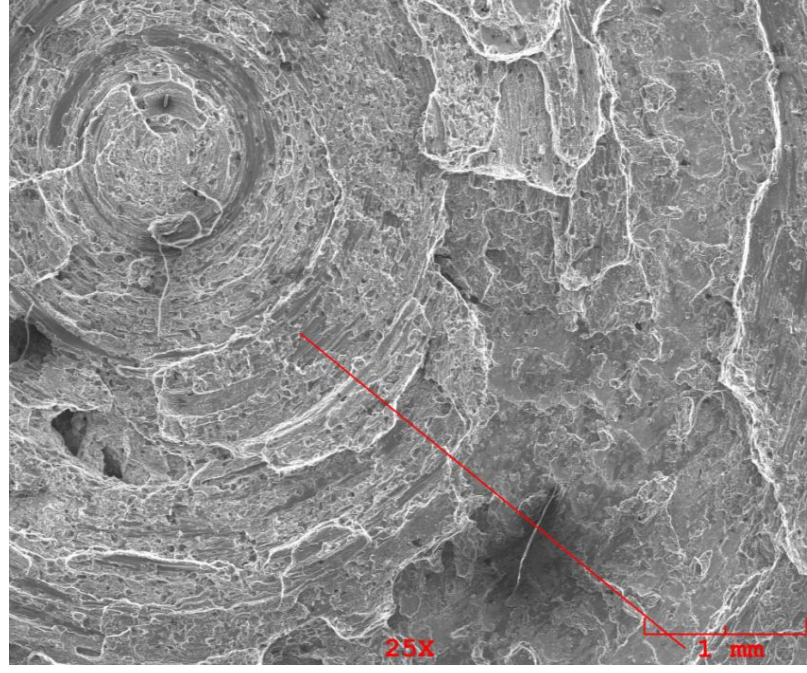
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%	
Al	Ka	6.16	1.570	2.218	wt.%	
Si	Ka	1.76	0.839	0.504	wt.%	
Fe	Ka	212.15	9.208	97.278	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil 7.4 Kırılma Yüzeyinin Ç1030 Malzemene Tarafında 1 Noktasının EDS Analiz Sonucu



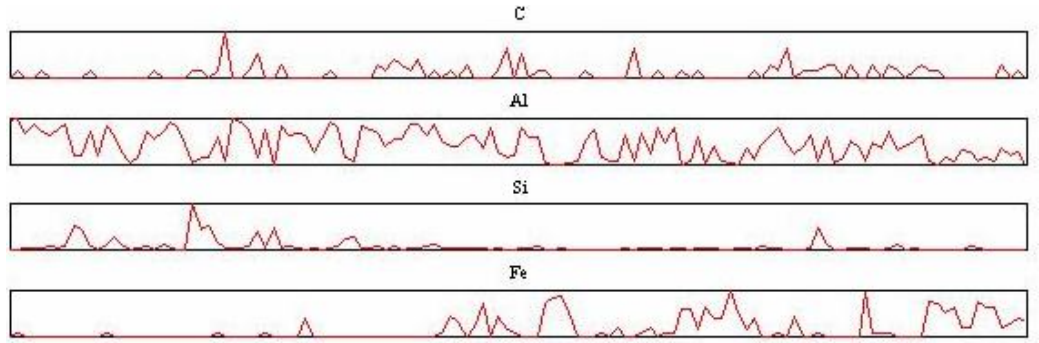
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	9.74	1.973	25.096	wt.%	
Al	Ka	737.44	17.169	43.489	wt.%	
Si	Ka	23.02	3.033	1.928	wt.%	
Fe	Ka	223.61	9.454	29.487	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil 7.5 Kırılma Yüzeyinin Ç1030 Malzemene Tarafında 2 Noktasının EDS Analiz Sonucu



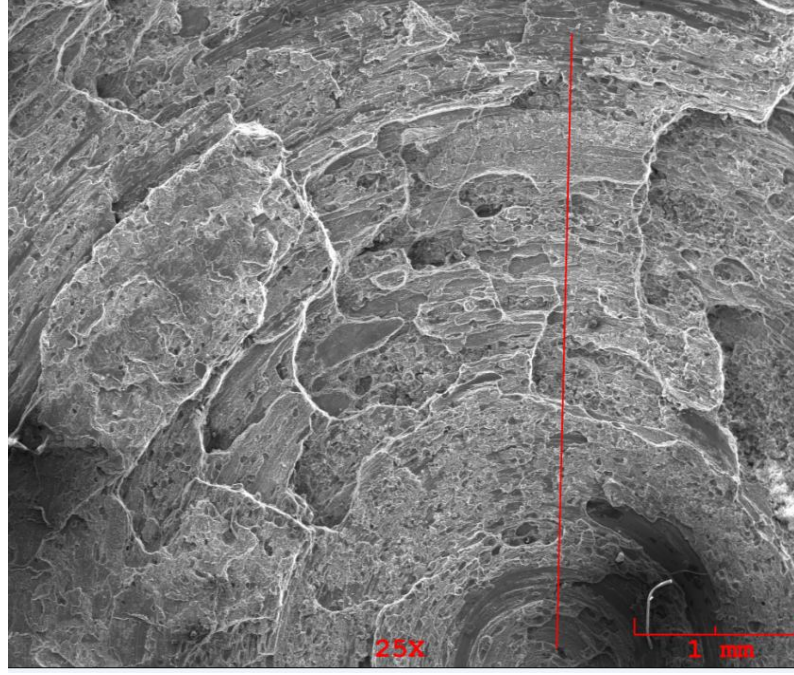
Şekil 7.6 Kırılma Yüzeyinin Ç1030 Malzemene Tarafında Doğrusal EDS

Analiz Hattı

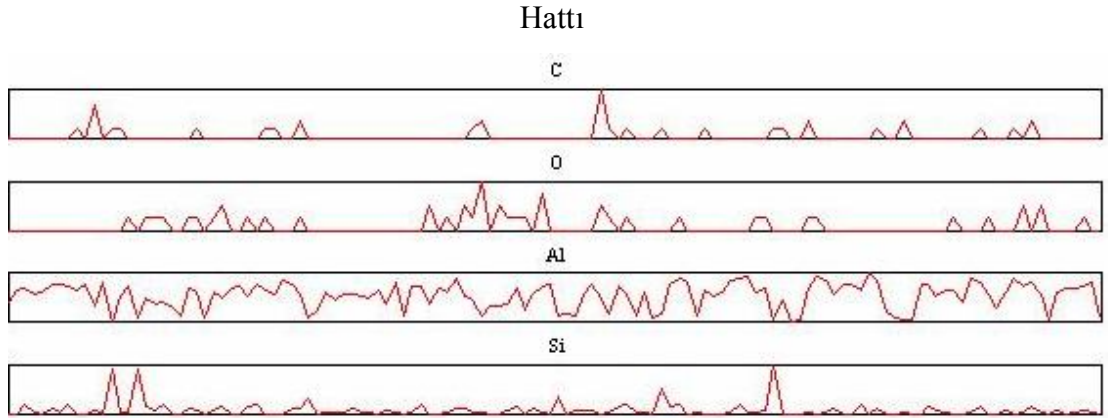


Şekil 7.7 Kırılma Yüzeyinin Ç1030 Malzemene Tarafında Doğrusal EDS

Analiz Sonucu



Şekil 7.8 Kırılma Yüzeyinin MMK Malzemene Tarafında Doğrusal EDS Analiz



Şekil 7.9 Kırılma Yüzeyinin MMK Malzemene Tarafında Doğrusal EDS Analiz

Sonucu

Kırılma esnasında Ç1030 malzemesi üzerinde MMK malzemesinin kaldığı yani kopmanın kaynak bölgesine yakın MMK bölgesinden gerçekleştiği; Ç1030 malzemesi üzerinde alınan noktasal ve doğrusal EDS analizleri ile görülmüştür. Daha önceki bölümlerde kaynak bölgesinden Fe elementinin MMK malzeme tarafına çok fazla difüze olduğu, Al ve SiCp'nin Ç1030 malzeme tarafına daha az difüze olduğunu söylemiştik. Ç1030 malzemesinde SiC, Al ve Fe'nin aynı yüzey üzerinde bulunması malzemenin kaynak bölgesine yakın MMK bölgesinden koptuğu doğrulamıştır.

7. GENEL SONUÇLAR

1. İmalatı gerçekleştirilen MMK malzemesinin içyapısı incelendiğinde yer yer boşluklara rastlanılmıştır. Takviye elemanına kaplama yapılarak bu sorunun giderilebileceği düşünülmüştür. Böylece ileriki çalışmalarda malzemede boşluk ve poroziteler önlenecek, daha mukavemetli MMK yapılması kararlaştırılmıştır.

2. Her kaynak işleminde olduğu gibi bu kaynak işleminde de malzeme yapılarından farklı yapıda kaynak bölgesi oluşmuştur. Malzemelerin ısı iletimlerinin ve mekanik dayanımlarının farklı olması kaynak bölgesinin de (özellikle MMK tarafında oluşmasına) farklı olmasına neden olmuştur. Alüminyum malzemenin ısı iletiminin daha yüksek ve mekanik dayanımının daha düşük olması bu taraftaki kaynak bölgesinin daha geniş alana yayılmasını sağlamıştır.

3. Kaynaklı numunelere yapılan çekme deneyleri sonucunda 3 numaralı deney numunesinin ($P_1=20$ MPa, $P_2=20$ MPa, $t_1= 10$ sn, $t_2= 4$ sn) en yüksek çekme mukavemetine (99,05 MPa) sahip olduğu, 4 numaralı deney numunesinin ise ($P_1=10$ MPa, $P_2=20$ MPa, $t_1= 6$ sn, $t_2= 4$ sn) en düşük çekme mukavemetine (53,99 MPa) sahip olduğu görülmüştür. Sürtünme basıncı ve sürtünme süresinin kaynak dayanımı için önemli olduğu görülmüştür. Sürtünme basıncı ve sürtünme süresinin yüksek deformasyona neden olmayacak ancak difüzyona izin verecek optimum değerde olması gerekir.

4. Kaynaklı numunelere yapılan sertlik incelemeleri sonucunda kaynak yerlerinden ana malzemelere doğru gidildikçe tam lineer olmayan, artıp azalan sertlik değerleri görülmüştür. Kaynak bölgesinde oluşan sertlik değerlerindeki artışın sebebi, yüksek ısı farkları ile oluşan iç gerilmeler, deformasyon sertleşmesi, SiCp'nin yığılma etkisiyle kırılarak birim alana daha fazla miktarda düşmesi ve oluşan $FeAl_3$ gibi intermetalik fazların olduğu tahmin edilmiştir. 3 numaralı deney numunesinin ($P_1=20$ MPa, $P_2=20$ MPa, $t_1= 10$ sn, $t_2= 4$ sn) kaynak sırasında kaynak

bölgesinde dayanımın yüksek olmasına rağmen en yüksek sertlik değeri elde edilmiştir. Bunun sebebi kaynak sırasında bu bölgede meydana gelen intermetalik fazların yığılma basıncının sürtünme basıncından yüksek seçilmemesi sebebiyle dışarı atılamamış olduğu düşünülmektedir.

5. Mikro yapı incelemelerinde, iki farklı malzemenin kaynağında meydana gelen yapı değişimleri üç farklı bölge olarak görülmüştür. Bunlardan, birincisi MMK'nın kısmen deforme olmuş bölgesini, ikincisi kaynak merkezindeki tamamen deforme olmuş bölgeyi, üçüncüsü ise Ç1030'un kısmen deforme olmuş bölgesini göstermektedir. Ç1030 malzemesinin kaynağa yakın bölgesinde ısıdan etkilenen bölgede çok fazla yapı değişikliği görülmemiştir. Bunun sebebi olarak kaynak esnasında Ç1030 malzemesindeki deformasyonu için yeterli sıcaklığa erişememiş olduğu düşünülmektedir. 4 ve 6 numaralı deney numuneleri hariç diğer tüm deneylerde malzemeler arası geçişin belirgin ve fazla olduğu net bir şekilde görülmüştür. Ancak 4 ve 6 numaralı deney numunelerinde malzemelerin kaynaklanmasını sağlayacak yeterli sürtünme basıncı ve sürtünme sürelerinin uygulanmaması kaynak bölgesinin bir çizgi olarak, malzemeler arası difüze sağlanmadan birleşim olmasına neden olmuştur.

6. İncelenen SEM görüntüleri sonucunda, kaynak bölgesinde SiCp, Al ve Fe'nin difüzyonu görülmüştür. Ayrıca yığılma basıncının etkisiyle SiCp'nin kaynak bölgesine yaklaştıkça kırıldığı ve boyutunun küçüldüğü görülmüştür. Bu da plastik deformasyonun artmasına ve sertlik değerinin yükselmesine neden olmuştur. Literatürde; sürtünme kaynağında kaynak merkezinde çevresel hız sıfırdır. Çap genişledikçe ve merkezden uzaklaştıkça bu hız artar. Hızın artmasıyla sürtünme artmış ve oluşan ısı da buna paralel olarak artmıştır. Buna bağlı olarak merkezden uzaklaştıkça ITAB bölgesinin genişliği artmaktadır [49]. ITAB bölgesinin değişiminin kaynak bölgesini doğrudan etkilediği düşünülmüştür. Çevresel hızın etkisi ile K.B'nin değişimi görülmüş ve kaynak bölgesinin merkezden uzaklaştıkça arttığı saptanmıştır.

7. Yapılan EDS analizleri sonucunda, kaynak geçiş bölgesinde SiCp'nin ve Fe elementlerinin yoğun olarak bulunması kaynak bölgesinde mikrosertlik değerinin yüksek olması görüşünü desteklemiştir. Ayrıca analiz sonuçlarında Fe elementinin

Ç1030 tarafından MMK tarafına bir kısmının difüzyon yoluyla sürtünme ve yığıma basınçlarının etkisiyle geçtiği görülmüş ve kaynak bölgesinde $FeAl_3$ gibi oluşumların meydana geldiği tahmin edilmiştir [50].

8. Kırılma yüzeyinin incelenmesi sonucunda, Çelik malzemenin kopma yüzeyini daha yakından incelediğimizde, genel olarak pürüzsüz ve parlak bir yüzey halinde görülen yapılar gevrek kırılmanın sergilendiğini gösterir. Çekme testi diyagramlarında da mukavemet değerleri incelendiğinde, belirgin bir akma değeri görülmemiş, % uzama değerleri ise oldukça düşük elde edilmiştir. Bu da gevrek kırılmanın gerçekleştiği düşüncesini desteklemektedir. Ancak beyaz örgüler halinde görülen yüzeyde girinti çıkıntının fazla olduğu, uygulanan çekme kuvvetinin etkisiyle büyük çukurcukların olduğu kısımlar, az da olsa malzemenin bu kısımlarında sünek bir kırılmanın sergilendiğini göstermektedir. Eds analizinde Ç1030 malzemesinde SiC, Al ve Fe'nin aynı yüzey üzerinde bulunması malzemenin kaynak bölgesine yakın MMK bölgesinden koptuğu doğrulamıştır.

9. Çekme, sertlik deneyleri, mikro yapı, SEM ve EDS incelemeleri sonucunda 3 numaralı deney numunesinin ($P_1=20$ MPa, $P_2=20$ MPa, $t_1=10$ sn, $t_2=4$ sn) en sağlıklı kaynak olduğu düşünülmüştür.

10. MMK ve Ç1030 malzemelerinin birlikte kullanılması gereken yerlerde birleştirme yöntemi olarak sürtünme kaynağının kullanılması; ergime sıcaklığının altında çalışılarak kaynağın çok kısa sürede gerçekleştirilmesini sağlamış, diğer kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi zor olan bu malzeme çiftlerinin bu yöntem ile birleştirilmesinin mümkün olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada, MMK malzemesinin Ç1030 ile birleştirilmesi başarıyla sağlanmış ancak daha güçlü kaynak eldesi için daha detaylı şartlarda daha fazla numune denenmesi önerilir.

KAYNAKLAR

- [1] Kurt, A., ‘‘Sürtünme Karıştırma Kaynağı’’, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, Kaynak Eğitimi Anabilim Dalı Öğretim Üyesi
- [2] Zhu, Z., ‘‘A Literature Survey on Fabrication Methods of Cast Reinforced Metal Composites’’, Edited by S.G. Fishman and A.K. Dhingra, ASM/TMS Committee, World Materials Congress, 24-30 Sept., Chicago- Illinois, USA. 1988.
- [3] Han, N.L., Yang, J.M., Wang, Z.G., ‘‘Role of Real Matrix Strain Low Cycle Fatigue Life of A SiC Particulate Reinforced Aluminium Composite’’, Scripta Mater 43. 801-805. 2000.
- [4] Zhang, X.P., Quan, G.F., Wei, W., ‘‘Preliminary Investigation on Joining Performance of SiC-Reinforced Aluminium Metal Matrix Composite (Al/SiC-MMC) by Vacuum Brazing’’, Composites: Part A, 30, 823-827, 1999.
- [5] Zhang, X.P., Ye, L., Mai, Y.W., Quan, G.F., Wei, W., ‘‘Investigation on Diffusion Bonding Characteristics of SiC Particulate Reinforced Aluminium Metal Matrix Composites (Al/SiC_p-MMC)’’, Composites: Part A, 30, 1415-1421, 1999.
- [6] Spindler, D.E., ‘‘What Industry Needs to Know Friction Welding’’, Welding Journal, pp 37-42, 1994.
- [7] Boyer, H.E., Gall, T.L., ‘‘Joining, Metals Handbook’’, Desk Edition, Metals Park, Ohio 44073, pp 30.58, 1988.
- [8] Jenning, P., ‘‘Some Properties of Dissimilar Metal Joints Made by Friction Welding’’, The Welding Institute, Abington Hall Cambridge, pp 147-153, 1971.
- [9] Şahin, A.Z., Yılbaş, B.S., Ahmed, M., Nickel, J., ‘‘Analysis of The Friction Welding Process In Relation to the Welding of Copper and Steel Bars’’, Journal of Materials Processing Technology 82, 127-136, 1998.
- [10] Özdemir N., Orhan N. ‘‘Yeni Tasarlanmış Bir Sürekli Tahrikli Kaynak Makinesinin İmalatı’’ Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt:43, Sayı:508
- [11] Şahin M., Akata H.E., Özel K., ‘‘Soğuk Şekil Verilmiş Alüminyum Malzemelerinin Sürtünme Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma’’ Mühendis ve Makine, Cilt : 48 Sayı: 573
- [12] Zhou, Y., Li, Z., Hu, L., Fuji, A., North, T.H., ‘‘Mechanical Properties of Particulate MMC/AISI 304 Friction Joints’’, ISIJ International, Vol. 35 (1 995), No. 10, pp. 131 5-1 321

- [13] Dabak, S., “Sürtünme Kaynak Tegahı İmalı SAE 8620-1040 Malzemelerinin Kaynağı ile Metalik ve Metalografik İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir, (1995)
- [14] Kahraman, N., Yılbaş, B., Odabaş, D., “H2210 Çeliği ile Alüminyumun Sürtünme Kaynağıyla Kaynak İşlemi ve Kaynak Parametrelerinin Kaynak Üzerine Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması”, 6. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli, Nisan (1995), 217
- [15] Lienert, T.J., Baeslack, W.A., Ringnalda, J., ve Fraser, H.L., “Inertia-Friction Welding of SiC-Reinforced 8009 Aluminium” Journal of Materials Science 31 (1996) 2149-2157
- [16] Li, Z., Maldonado, C., North, T.H., Altshuller, B., “Mechanical and Metallurgical Properties of MMC Friction Welds”, Welding journal ISSN 0043 2296, 1997, Vol. 76, No:9, pp. 367.s-373.s (21 ref.)
- [17] North, T.H., Bendzsak, G.J., Li, Z., Zhai, Y., “Particle Fracture, Retention, and Fluid Flow in Metal Matrix Composite Friction Joints”, Metallurgical and Materials Transactions, Volume 28A, November 1997—2371
- [18] Lin, C.B., Mu, C.K., Wu, W. W., Hung, C.H., “The Effect of Joint Design and Volume Fraction on Friction Welding Properties of A360/SiC(p) Composites”, Development Reserch, 100-s, March 1999
- [19] Gosaku, K., Koichi, O., Hiizu, O., Hiroshi, T., “Friction Weldability of Various Aluminum Alloy Pipe to SUS304 Stainless Steel Pipe”, Journal of Japan Institute of Light Metals, Journal Code:F0772A, Issn:0451-5994, Vol:49, No.2, Page:83-88(1999)
- [20] C. B. Lin, C.B., Chou, C., Ma, C.L, “Manufacturing and Friction Welding Properties of Particulate Reinforced 7005 Al”, Journal Of Materials Science, 37 (2002) 4645 – 4652
- [21] Maldonado, C., North, T.H., “Softened Zone Formation and Joint Strength Properties in Dissimilar Friction Welds”, Journal of Materials Science 37 (2002) 2087 – 2095
- [22] Şahan, E., “Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretilen Al Matrisli Al₂O₃ Takviyeli Kompozitin Sürtünme Kaynağının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ, (2002)
- [23] Haşçalık, A., “Al₂O₃ Oranının Al/ Al₂O₃ Kompoziti ile AISI 1020 Çeliğinin Sürtünme Kaynağına Etkisi”, F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15(2), 99-108, 2003

- [24] Orhan, A., “Al matrisli Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Sürtünme Kaynak Yöntemiyle Kaynak Edilebilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, (2003)
- [25] Lee, W.B., Kim, M.G., Koo, J.M., Kim, K.K., Quesnel, D.J., Kim, Y.J., Jung S.B., “Friction Welding of TiAl and AISI4140”, Journal Of Materials Science 39 (2004) 1125 – 1128
- [26] Ochi, H., Ogawa, K., Yamamoto, Y., Suga, Y., “Friction Welding Using Insert Metal”, Welding Journal, March (2004)
- [27] Kato, K., Tokisue, H., “Dissimilar Friction Welding of Aluminium Alloys to Other Materials”, Welding International 2004 18 (11) 861–867
- [28] Ersözlü, İ., “Sürtünme Kaynak Makinasının Bilgisayar Kontrollü Çalıştırılması ve SAE 4140 ve SAE 1050 Çeliklerine Uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir, (2006)
- [29] Şahin, M., “Joining of Stainless-Steel and Aluminium Materials by Friction Welding”, Int J Adv Manuf Technol (2009) 41:487–497
- [30] Reddy, M.G., Rao, S.A., Mohandas, T., “Role of Electroplated Interlayer in Continuous Drive Friction Welding of AA6061 to AISI 304 Dissimilar Metals ”, Science and Technology of Welding & Joining, Volume 13, Number 7, October 2008 , pp. 619-628(10)
- [31] Fauzi M.N.A., Uday, M.B., Zuhailawati, H., Ismail, A.B., “Microstructure and Mechanical Properties of Alumina-6061 Aluminum Alloy Joined by Friction Welding”, Materials and Design 31 (2010) 670–67
- [32]
http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/malzeme_bilgisi/kompozit%20malzemeler.pdf
- [33] Soy, U., “Metal Matriks Kompozit Malzemeler”
www.ugursoy.sakarya.edu.tr
- [34] Kılıçkap, E., Çakır, O., İnan, A., “%5 SiCp Metal Matriksli Kompozitin Tornalanmasında Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi” Dicle Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 2003
- [35] Akdoğan, A.,
“http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/imalattakompozit/MMK_son.pdf”
2008
- [36] Yılmaz, H., “Alüminyum Esaslı SiCp Partikül Takviyeli Metal Matrisli” Uçak Gövde-Motor Bölümü Bitirme Ödevi Sivil Havacılık Yüksekokulu, Erciyes Üniversitesi, 2007

- [37] Dikici, B., Bedir, F., Altun, H., Gavgalı, M., “%40 TiC VE SiC Partikül Katkılı Metal Matrisli Kompozitlerin Potansiyodinamik ve EIS Analizleri” Mühendis ve Makine, Cilt:50 Sayı:595
- [38] “<http://www.scribd.com/doc/6705785/kompozitMalzemeler>”
www.kimyamuhendisi.com
- [39] Persson, H., “Guidelines for joining of metal matrix composites MMC”, Assess Thematic Network 2001
- [40] <http://www.aws.org/wj/may01/fig1.gif>
- [41] Çalgülü, U., Orhan, A., Gür, A. K., “Sürtünme Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmiş AISI 420/AISI 1010 Çelik Çiftinde Çevresel Hızın Mikroyapı Özelliklerine Etkisi”, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi 19 (4), 583-592, 2007
- [42] Ateş, H., Kurt, A., Türker M., “Sürtünme Kaynağı” Kaynak Teknolojisi II. Ulusal Kongresi
- [43] Ateş, H., Bayındır, R., “PIC Kontrollü Sürtünme Kaynak Makinesi Kontrol Devresi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi” Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Metalurji Eğitimi Bölümü, Ankara, Teknoloji Dergisi, Yıl 6, (2003), Sayı 3-4, 107-114
- [44] <http://www.veribaz.com/viewdoc.html?surtunme-kaynagi-356457.html>
- [45] www.teknikcelik.com.tr
- [46] Durmuş, H., Meriç, C., Uzun, R.O, “AL-SiC Kompozitinin Lazer Kaynağı ile Birleştirilmesi” C.B.U. Journal of Science 2.1 (2006) 67 73 2.1 (2006) 67 73
- [47] Dinç, D., “AISI 1040 ve AISI 304 Çeliklerinin Sürtünme Kaynak Yöntemiyle Kaynak Edilebilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir, (2006)
- [48] http://maluyam.pau.edu.tr/?sayfa_no=66
- [49] Kovan, V., Materials 2006, 11th International Materials Symposium, Denizli, (2006), 84
- [50] Yılmaz, M., Çöl, M., “Sürtünme Kaynaklı Alüminyum Çelik Bağlantıları”, Mühendis ve Makina - Cilt: 41 Sayı: 488 ISSN 1300-3402
- [51] Noh, M.Z., Hussain L.B., Ahmad, Z.A., “Alumina–Mild Steel Friction Welded at Lower Rotational Speed” Journal of Materials Processing Technology 2004(2008) 279–283
- [52] Ay, İ., <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/?view=lectures>”, Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırılma Mekaniği ve Yorulma Yüksek Lisans Dersi,